This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

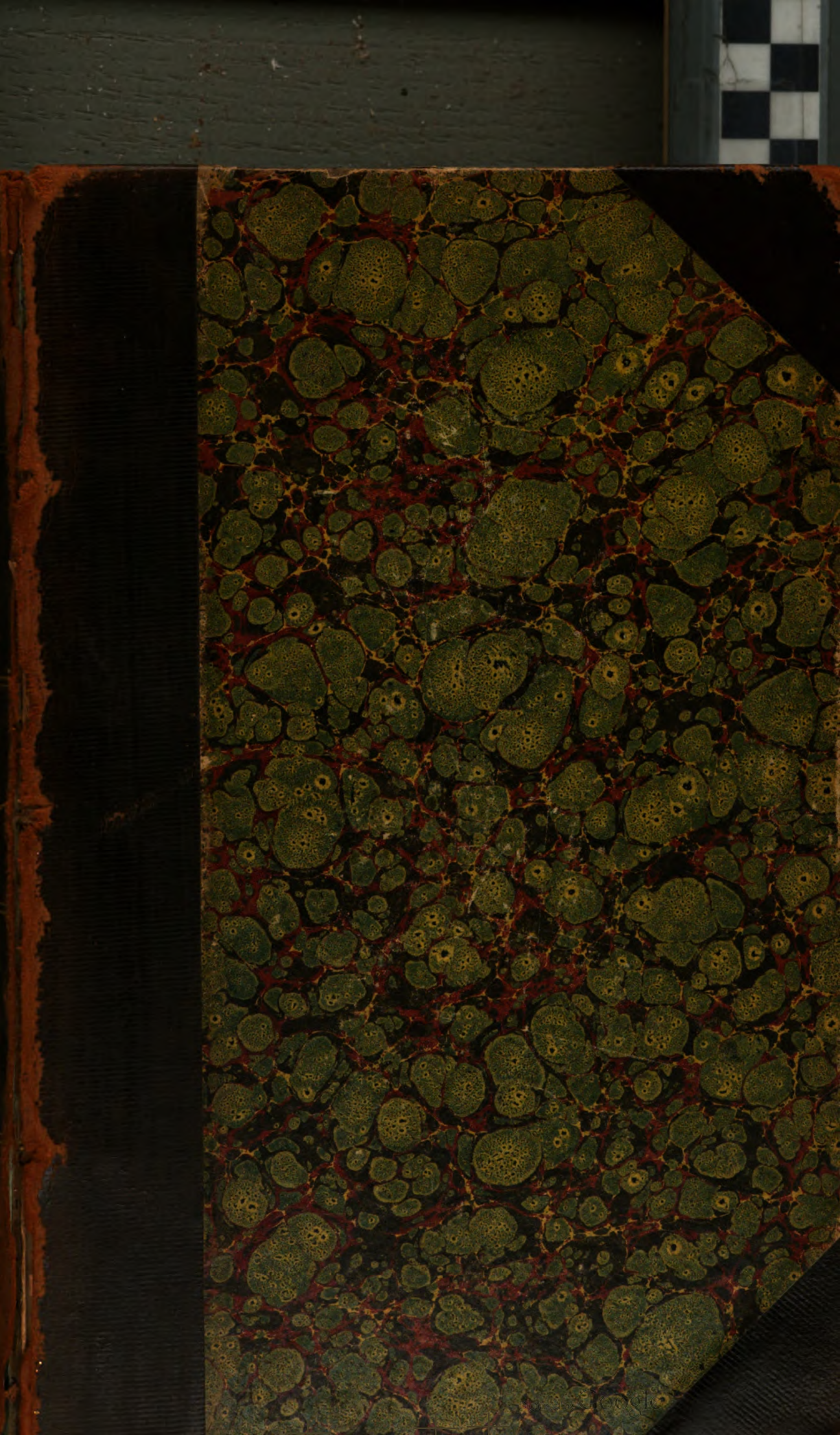
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



LIBRARY
OF THE
University of California.

No. 20988
Division
Range
Shelf ENGIR. LIBRARY
Received August 1882

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

Digitized by Google

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les Discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le Bulletin.

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

ECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860.

ANNÉE 1877

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROCHECHOUART, 10

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

RUE DES SAINTS-PÈRES, 54.

1877

Digitized by Google

ENGIN. LIBRARY

Digitized by Google

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1877

Membres du Bureau.

Président :

M. De Dion (Henri), O. ✱, rue de Moscou, 28.

Vice-Présidents :

MM. Arson (Alexandre), ✱, rue de Bourgogne, 40.
Goschler (Charles), C. ✱, rue de Presbourg, 17.
Mathias (Félix), ✱ O. ✱ ✱ ✠ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Brüll (Achille), rue de Bruxelles, 44.

Secrétaires :

MM. Mallet (Anatole), rue de Larochefoucauld, 30.
Rey (Louis), ✱, rue d'Auteuil, 52.
Badois (Edmond), rue Blanche, 12.
Armengaud jeune fils, boulevard de Strasbourg, 23.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✱ ✱ ✠ ✱, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. Desgrange, ✱ C. ✠ ✱ ✱, boulevard Haussmann, 135.
Ermel (Frédéric), ✱ ✱, cité des Fleurs, 54, à Batignolles.
Demimuid (René), ✠, rue de Rennes, 65.
Forquenot (Victor) ✱, boulevard Saint-Michel, 24.
Marché (Ernest), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 4.
Farcot (Joseph) ✱, au port Saint-Ouen.
Chobrzynski (Jean-Pierre-Ch.), ✱ ✱, boulevard de Magenta, 139.

Digitized by Google

MM. Chabrier (Ernest), ✱, avenue du Coq, 4.
Périssé (Sylvain), rue Boursault, 59.
Dietz-Monnin (Charles-Frédéric), directeur des ateliers de Beaucourt, associé de MM. Japy frères, rue du Château-d'Eau, 7.
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Vée (Léonce), rue de Rome, 61.
Morandiere (Jules), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Mathieu (Henri), ✱, rue Casimir-Périer, 27.
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Ronna (Antoine) O. ✱ ✠ ✱, boulevard Haussmann, 25.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Orsat (Louis), ✱, rue de la Victoire, 29.
Rubin (Arthur), rue de Douai, 3.

Anciens Présidents.

MM. Callon (Charles) ✱, rue de Birague, 16.
Jordan (Samson) ✱, boulevard Malesherbes, 122.
Lavalley, O. ✱ ✠, rue Murillo, 18.
Love (Georges), ✱, rue Baudin, 21.
Molinos (Léon) ✱, rue de Châteaudun, 2.
Mony (Stéphane), O. ✱, à Commentry (Allier).
Muller (Émile) ✱, rue des Martyrs, 19.
Richard (Jean-Louis) ✱, rue Billault, 31.
Salvetat (Alphonse) ✱ ✱ ✠, à Sèvres (Manufacture nationale).
Yvon-Villarceau ✱ ✠ ✠, avenue de l'Observatoire, 18.

Présidents honoraires.

MM. Morin (le général), G. C. ✱ ✠ ✱ ✠, directeur du Conservatoire des Arts et métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Henri), O. ✱ ✠ ✱ ✠, sous-directeur du Conservatoire des Arts et métiers, rue Saint-Martin, 292.
Vuillemin (Louis), ✱ O. ✠ ✠ ✱, rue de Vigny, 1.

Digitized by Google

Membres honoraires.

MM. Dumas, G. C. ✠, membre de l'Institut, rue Saint-Dominique, 69.

Engerth (Guillaume) (Le Baron), C. ✠ ✱ ✠ ✠, conseiller aulique, sénateur, Directeur Général adjoint de la Société autrichienne Impériale et Royale des chemins de fer de l'État, à Vienne (Autriche).

Hawkshaw (sir John) (le chevalier), 33, Great-George-Street-Westminster, Londres (Angleterre).

Reymond Rossiter, W. C. E. Esq. president of the American Institute of Mining Engineers, 27, Park place (New-York).

Sella Quintius (le commandeur), ingénieur en chef au corps des mines, député au Parlement, à Rome (Italie).

F. Schmidt, Conseiller supérieur et Professeur de constructions, Président de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne.

Membres sociétaires.

A

MM. Aboilard (François-Auguste-Théodore), à Corbeil (Seine-et-Oise).

Achard (François-Ferdinand), rue de Provence, 60.

Adcock (François-Louis), 16 Clipstone-Street, Londres. W. (Angleterre).

Adhémar (Léon-Philippe), attaché aux houillières de Commentry, rue Lavoisier, 22.

Agnès (Antony), C. ✱, rue de Chalons, 40.

Agudio (Thomas) ✠, rue de l'Arsenal, 17, à Turin (Italie).

Aivas (Michel), O. ✠ ✱, rue des Trois-Frères, 21, à Villemomble (Seine).

Albaret (Auguste) ✠, constructeur de machines agricoles, à Liancourt (Oise).

Albaret (Eugène), rue Legendre, 43 (Batignolles).

Alby (Joseph) ✠, chef de division de l'entretien du chemin de fer de la haute Italie, à Turin (Italie).

Digitized by Google

MM. Allaire (Théodore-Émile), chimiste, rue des Frères-Herbert, 56, à Levallois.

Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Maubeuge, 81.

Alziari de Malaussène (François), rue Garnieri, 10, à Nice (Alpes-Maritimes.

Ameline (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.

Andelle (Jules-Georges), sous-directeur des verreries, à Épinac (Saône-et-Loire).

André (Gaspard-Louis), boulevard Port-Royal, 83.

André (Charles-Henri), rue du Manége, 10, à Nancy (Meurthe).

Andry ✱, à Boussu, près Mons (Belgique).

Angevère (Marcel-Jules), hôtel de l'Europe, à Pesth (Hongrie).

Ansaloni-Amilcar (Jean-Antoine), à Selles-sur-Cher (Loir-et-Cher).

Ansart (Ernest), avenue de Neuilly, 60, à Neuilly (Seine).

Anthoni (Charles-Gustave), constructeur de matériel pour la carrosserie, rue Fouquet, 38, à Levallois-Perret.

Appert (Léon), produits-vitrifiés, rue de l'Ourcq, 59, à la Villette.

Aquin (d') (Thomas), directeur des forges de Moyeuvre (Alsace-Lorraine).

Arbel (Lucien), maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).

Arbulu (de) (José Maria), à Saint-Sébastien (Espagne).

Argangues (d') (Paul-Eugène) ✱, rue de Dunkerque, 18.

Armengaud aîné ✱, rue Saint-Sébastien, 45.

Armengaud aîné fils, (Charles-Eugène), rue Saint-Sébastien, 45.

Armengaud jeune ✱, boulevard de Strasbourg, 23.

Armengaud jeune fils (Jules-Alexis), boulevard de Strasbourg, 23.

Arnoldi (Jules), avenue de Clichy, 176.

Arsac (Marie-Joseph), chef de fabrication aux forges de Bazail, à Toulouse (Haute-Garonne).

Arson (Alexandre) ✱, rue de Bourgogne, 40.

Artus (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.

Asselin (Eugène), chimiste, rue des Poissonniers, 3 à Saint-Denis.

Atkins (Francis-Henri), 62, Fleet street Londres (Angleterre).

Audebert (Jean-Henri), au Creusot (Saône-et-Loire).

Audemar (Henri), à Dôle (Jura).

Audenet (Camille), rue Boudreau, 11.

Auderut (Francisque-Henri), ingénieur, chez MM. Petin et Gaudet, à Saint-Chamond (Loire).

Aylmer (John), rue de Naples, 4.

Digitized by Google

B

MM. Badois (Edmond), rue Blanche, 12.
Baillet (Gustave), rue de Villiers, 22, aux Ternes.
Balestrini, pavillon de Rohan, rue de Rivoli, 172.
Bancilhon (Émile), ingénieur aux mines de soufre de Riesi, Sicile (Italie).
Banderali, O. ✠, rue Clauzel, 22.
Bandholtz (Frédéric), chef de section au chemin de fer du Midi, allée Lafayette, 22, à Toulouse (Haute-Garonne).
Bara, rue de Magenta, 17, à Pantin.
Barbaroux (Marie-Ferdinand-Auguste), avenue de Madrid, 13, à Neuilly.
Barbe (Paul), maître de forges, rue Condorcet, 12.
Barberot (Félix) ✱, C. ✱, avenue de Clichy, 19, à Batignolles.
Barbier (Ernest), rue de Laval, 9.
Barnes (Edmond) ✱, the Pentewan Railway and Harbour Company (limited), Engineers Office. (Saint Austell, Cornwall (Angleterre).
Barnoya (Luis), ingénieur-mécanicien de la division de Ferro-Carriles Fonda Peninsular, à Barcelona (Espagne).
Barrault (Émile), ingénieur conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Saint-Martin, 17.
Barré (Frédéric-Henri), chef de section, service de la voie du chemin de fer du Nord, à Saint-Quentin (Aisne).
Barre (Raoul-Eugène), rue Singer, 2, à Passy.
Barre (Charles-Armand-Athanase), ingénieur de la Société des hauts fourneaux et fonderie de Brousseval, place Pereire, 1.
Barros Barreto (de) Manuel, ingénieur en chef du contrôle du chemin de fer de Récife à San Francisco, à Pernambuco (Brésil).
Barroux (Léon) ✱, à Troyes (Aube).
Barthélemy (Henry), architecte, quai Voltaire, 3.
Bartissol (Edmond), rue S. Bernardo, 63, à Lisbonne (Portugal).
Basset (André-Louis), avenue des Gobelins, 297.
Battaille Straatman (Jean), rue Royale, 135, à Bruxelles (Belgique).
Battarel (Pierre-Ernest), rue de Cambrai, 3, à la Villette.
Baudet (Louis-Constant-Émile), rue du Rocher, 64.
Baumal (Henri) ✱, rue de Londres, 51.
Bauquel (François-Auguste), à Cirey (Meurthe).

Digitized by Google

MM. Bayvet (Gustave), boulevard Haussmann, 82.
Bazaine (Achille-Georges), rue de Bruxelles, 42.
Beaucerf ✱, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Beaumetz-Dujardin (François-Paul-J.), à Montmorillon (Vienne).
Beaupré (Eugène), filateur à Masnières, près Cambrai (Nord).
Béliard (Georges-Alfred), directeur de l'atelier de M. Decauville, à Petit-Bourg, par Évry (Seine-et-Oise).
Bélin (Pierre-Ernest), rue Lemercier, 23, à Batignolles.
Bellet (Henri-Nicolas), au chemin de fer du Nord belge, à Charleroi (Belgique).
Belleville (Julien-François) ✱, constructeur, avenue Trudaine, 16.
Bellier (Adolphe) ✱ ✱, chef de la division centrale au chemin de fer du Midi, cours d'Alsace-et-Lorraine, 101, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Bénédic-Fribourg (Henri-Georges), avenue Niel, 14.
Benoit (René), ingénieur chez MM. Rattier et Compagnie, à Bezons (Seine-et-Oise).
Benoit-Duportail (Armand-Camille) ✱, rue Lacondamine, 100.
Berendorf (Joseph), constructeur, avenue d'Italie, 75.
Berenger (Jean-Alexandre), 11, Carlgasse, à Vienne (Autriche).
Berges (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Alsace).
Bergeron, rue de Penthièvre, 26.
Bernard, ingénieur de la voie au chemin du fer du Nord, à Namur (Belgique).
Bertheault (William), directeur des forges de Montataire (Oise).
Berthier (Camille), fabricant de tuiles et briques, à La Ferté-Saint-Aubin (Loiret).
Berthot (Pierre), à la papeterie du Pont-de-Seychal, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Berton (Albert-Adrien), cité Bergère, 2.
Berton (Théodore), rue Saint-Martin, 30, à Versailles (Seine-et-Oise).
Bertrand (Alfred-Pierre-Joseph), filateur, à Cambrai (Nord).
Bertrand (Gustave), rue Bonaparte, 82.
Béthouart (Alfred-Auguste), à Chartres (Eure-et-Loir).
Beudin (Gustave), chaussée d'Antin, 66.
Beugnot (Jean) ✱ ✱, associé de la maison Koechlin, à Mulhouse (Alsace).
Bévan de Massy (Henri), C. ✱, C. ✠, rue Lavoisier 5.
Bianchi ✱ ✱, rue de Rennes, 154.
Blarez (Alfred-Louis-P.), ingénieur en chef de la voie au chemin de fer de Saragosse à Pampelune, à Barcelone (Espagne).
Bidou (Léon-Auguste-Clément) ✱, à Sienne (Italie).
Binder (Charles-Jules) ✱, boulevard Haussman, 170.

Digitized by Google

MM. Bippert, rue des Petites-Écuries, 12.
Birlé (Albert), rue de France, 15, à Nice (Alpes-Maritimes).
Biver (Hector) ✱, rue du Cherche-Midi, 21.
Biver (Pierre-Ernest-Dominique), rue de la Darse, 10, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Bixio (Maurice), quai Voltaire, 17.
Blake (David) ✱, à Dieppe (Seine-Inférieure).
Blanche (Auguste), quai National, 3, à Puteaux.
Blanco (Juan-Maria), plaza de San-Francisco, 3, à San Lucar de Banameda (Espagne).
Blanleuil (Jean-Victor), entrepreneur de travaux publics, à Angoulême (Charente).
Blard (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
Bleynie (Martial), avenue Lacué, 28.
Blétry (Alphonse-Edmond), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
Blétry (Constant-Pierre-Alexandre), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
Blonay (de) (Henri), ingénieur-consultant, à Lausanne (Suisse).
Blondeau (Paul-François), avenue des Amandiers 10.
Blondel (Henri-Auguste-Adrien), rue de Vintimille, 2.
Blondin (Ferdinand), rue de Provence, 59.
Blot (Léon), boulevard des Batignolles, 29.
Blot (George-René), rue des Petites Écuries, 50.
Blythe (John), entreprise de préparation des bois, cours du Jardin-Public, 24, à Bordeaux (Gironde).
Bobin (Hippolyte), rue de Châteaudun, 42.
Bodin (Paul-Joseph), avenue de Clichy, 176.
Bomb (Émile), constructeur pour sucrerie et distillerie, quai de la Haute-Deule, 25 et 27, à Lille (Nord).
Boschevalier (Paul-Eugène), rue Montalivet, 18.
Boistel (Louis-Charles-Georges), représentant de la maison Siemens, rue de Châteaudun, 11.
Boivin (Émile), raffineur, rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bomches (Frédéric), via Belvedère, 160, à Trieste.
Bonnard (de) (Gaëtan-Arthur), boulevard de Magenta, 109.
Bonnardel (Barthélemy-Antoine), aux forges de Montataire (Oise).
Bonnaterre (Joseph), rue Sainte-Anne, 22.
Bonnefond (Charles) rue Nationale, 57, à Ivry-sur-Seine.
Bonnet (Désiré), constructeur de machines, à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Édouard), O. ✱, ingénieur en chef de the Fron Bridges, maintenance Compagnie, à Bucharest (Roumanie).
Bonnevalle Paul-Armand-Joseph), rue Alboury, 25.

Digitized by Google

MM. Bonneville (de) (Marie-Joseph), ingénieur de la fonderie de Terre-Noire (Loire).
Bonnin (René), agent voyer en chef, à Évreux (Eure).
Bontemps (Gorges), rue de Lille, 11.
Bornèque (Pierre-Constant-Eugène) ✱, ingénieur, chez MM. Japy frères, à Beaucourt (Haut-Rhin).
Bossi (de) (Édouard), à Altorf, canton d'Uri (Suisse).
Boudée (F.-Charles-Paul) ✱, strada S. Chiara, 2, à Naples (Italie).
Boucard (Alexandre-André), rue d'Antin, 11.
Bouchotte (Émile-Simon), minotier, place Saint-Michel, 6.
Boudard (Casimir), inspecteur des usines de Dangu, ingénieur de la Société des usines à gaz, E. Melon de Pradou, G. Lecoq et Cie, rue Meslay, 10.
Boudard (Félix-Arthur), rue Perronet, 7.
Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
Bouhey (Étienne), constructeur, avenue Daumesnil, 43.
Bouilhet (Henri-Charles) ✱, rue de Bondy, 56.
Bouissou (Amable-Louis), rue Montrosier, 7, à Neuilly.
Boulet (Jean-Baptiste), faubourg Poissonnière, 144.
Boulogne (Jules-Ernest), quai de la Seine, à Saint-Denis.
Bourcart (Henri), filateur, à Guebwiller (Haute-Alsace).
Bourdais (Jules) ✱, rue Laffitte, 51.
Bourdelas (Jules-Louis), sous-chef du bureau de l'ingénieur en chef à la Compagnie des Chaentes, rue Rennequin, 60, aux Ternes.
Bourdin (Gabriel-Jules-Amédée), métallurgiste, rue d'Anjou-Saint-Honoré, 65.
Bourdon (Eugène) ✱, constructeur-mécanicien, rue du Faubourg du Temple, 74.
Bourdon (Édouard-François), construct.-mécanicien, faubourg du Temple, 74.
Bourdon (Alexandre-Charles), place Voltaire, 7.
Bourgeat (Alphonse), architecte de la ville, rue Martron, 1, à Rochefort-sur-Mer (Charente-Inférieure).
Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.
Bourgougnon (René), rue Lemercier, 44, aux Batignolles.
Bourset (Louis-Désiré), architecte, à Cirey-le-Château (Haute-Marne).
Bourson (Michel) ✱ ✲ ✠, consul de Belgique, à Bilbao (Espagne).
Boutmy (Gabriel-François) ✱, rue Jean-Lantier, 4.
Bouvard (Paul-Marie) ✱, au Creusot (Saône-et-Loire).
Brabant (Georges-Édouard), à Morenchies, par Cambrai (Nord).
Bracquemont (de) (Adrien) ✱, boulevard Malesherbes, 19.

Digitized by Google

MM. Branwell (Frédéric-Joseph), 37, Great George street Westminster, à Londres (Angleterre).
Branville (de) (Paul), rue Jacques-Cœur, 46.
Brauer (François-Charles), à Graffenstaden (Alsace).
Brault (Alexandre) ✱, rue de Bonneval, à Chartres (Eure-et-Loir).
Bréguet ✱, horloger, quai de l'Horloge, 39.
Bréguet fils (Antoine), quai de l'Horloge, 39.
Brémond (Joseph-Alexandre-Lucien), directeur de l'usine à gaz de Versailles, 12, rue de Clagny (Seine-et-Oise).
Breton (Étienne), chef de section à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, à Bar-sur-Aube (Aube).
Bricogne (Charles) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 33.
Bridel (Gustave), directeur de la correction des eaux, à Bienne (Suisse).
Brivet (Henri), produits chimiques, avenue Péreire, 70, à Asnières.
Brocchi (Astère), directeur de la maison Périn, fabricant de scies, avenue d'Ivry, 19.
Brodard (Marie-Anatole-Octave), rue du Bac, 94.
Bronne (Joseph), papetier, rue Joubert, 29.
Bronne (Louis), industriel, rue Grétry, 28, à Liége (Belgique).
Brossard (Louis-Henri-Maurice), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer de Lyon, boulevard Beaumarchais, 15.
Bruère, à Signy-le-Petit (Ardennes).
Bruignac (Duroy de) (Albert), rue Saint-Antoine), 9, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brüll (Achille), rue de Bruxelles, 44.
Brunon (Barthélemy), constructeur, à Rive-de-Gier (Loire).
Brustlein (H.-Aimé), à Unieux (Loire).
Buddicom ✱, Penbedw-Mold flinstshire (Angleterre).
Bullot (Edmond), rue de la Gare, 12, à Saint-Denis.
Bunel (Henri), rue du Conservatoire, 13.
Buquet (Hippolyte-Amédée), gérant de la *Revue industrielle*, Boulevard des Batignolles 13.
Bureau, rue de Moscou, 29.
Burel (Eugène), rue Baudin, 22.
Buron (Oscar-Gabriel), chef de traction au chemin de fer d'Orléans, à Tours (Indre-et-Loire).
Busschop (Émile), à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise).

Digitized by Google

C

MM. Cabanes (Félix), rue Leconte, 1, aux Batignolles.
Cabany (Armand), constructeur, à Malines (Belgique).
Cachelièvre (Charles-Paul-Émile), à Badajoz (Espagne).
Cadiat (Ernest), rue Meslay, 21.
Cail (Émile), avenue de l'Empereur, 127.
Caillaux (Alfred-Adrien-Hippolyte), rue Saint-Jacques, 240.
Caillé (Jules-Charles), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer d'Orléans, rue Guy de La Brosse, 14.
Caillot-Pinart ✱, rue du Faubourg-Saint-Martin, 167.
Caisso (Marin), ingénieur des ateliers du chemin de fer de l'Ouest, boulevard Rochechouard, 2.
Calabre (Sébastien), rue de Lyon, 4.
Cardaya (Charles-Antony), chez MM. Harel et Cie, à Givors (Rhône).
Calla père (Christophe) ✱, rue des Marronniers, 8, à Passy.
Calleja (Henri), à la Ciudad-Real (Espagne).
Callon (Charles) ✱, rue de Birague, 16.
Capdeville, rue de la Gare, 2, à Saint-Denis.
Capelle (Eugène-Gustave), rue Lesueur, 70, au Havre (Seine-Inférieure).
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcuac (Armand-Jean-Antoine), à Aubin (Aveyron).
Carez (Ernest-Eugène), rue de Stassart, 101, à Bruxelles (Belgique).
Carimantrand (Jules), rue Meunier, 45.
Carpentier (Léon), rue de Fleurus, 37.
Carron (Pierre-Joseph-Charles), rue Très-Cloîtres, 21, à Grenoble (Isère).
Cartier (Émile), fabricant de sucre, à Nassandres (Eure).
Cassagnes (Gilbert-Alfred), directeur des *Annales industrielles*, rue Lafayette, 18.
Casalonga (Dominique-Antoine), rue des Halles, 19.
Castel (Émile) ✱ O. ✠, rue de Dunkerque, 20.
Cauvet (Alcide) ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 23.
Cazalis de Fondouce (Paul) ✠ ✱ ✱, propriétaire agricole, rue des Étuves, 18, à Montpellier (Hérault).
Cazes (Edwards-Adrien), quai de Bourgogne, 37, à Bordeaux (Gironde).
Cernuschi, avenue Velasquez, 7, via San-Maurilio, 13, à Milan (Italie).
Chabrier (Ernest) ✱, rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Chalain (Prosper-Édouard), rue du Faubourg-Saint-Martin, 171.
Chaligny (Gabriel-Joseph), rue Philippe-de-Girard, 54.
Chalmeton, aux forges d'Aubin (Aveyron).

Digitized by Google

MM. CHAMPION (Paul) ✱, chimiste, rue de Turin, 7.
CHAMPIONNIÈRE, à Montignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
CHAMPOUILLON ✱, boulevard Péreire, 108.
CHANCEREL (Charles-Antoine), rue Béranger, 21.
CHAPER ✱, rue de Londres, 4.
CHAPMAN (Henri), rue Louis-le-Grand, 11, et 113, Victoria street Westminster S. W., London.
CHAPRON (Laurence-Louis-Achille), architecte, chez M. Manuel de Arana, directeur de la Quinta normal de Agricultura, à Santiago (Chili).
CHARBONNIER (Amédée-Pierre), au Creusot (Saône-et-Loire).
CHARDON (Eugène-Frédéric), avenue Trudaine, 13.
CHARLIER (Timothée), chef du contrôle des chemins de fer de Roumanie et inspecteur général des ponts et chaussées, 163, rue Mogosoi, à Bucharest (Roumanie).
CHARLON (Claude-Émile), ingénieur de la Compagnie des asphaltes, rue Sala, 33, à Lyon (Rhône).
CHARPENTIER (Joseph-Ferdinand), rue Perdonnet, 13.
CHARPENTIER (Paul-Ferd.), métallurgiste, boulevard de Clichy, 8.
CHARTON (Jules-Jean), ingénieur de la construction aux chemins de fer du Midi, boulevard Haussmann, 54.
CHATARD (Alfred), au château de Coulanges, par Damville (Eure).
CHATEAU (Théodore-Jean-Marie), chimiste, rue Saint-Denis, 12, à Asnières (Seine).
CHAUVEAU DES ROCHES (Arthur) ✱, O. ✱, à Massault-Quinçay, par Vouillé (Vienne).
CHAUVEAU (Jules-Édouard), directeur des fonderies de Torteron (Cher).
CHAUVEL (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
CHAVANNES (Émile-Frédéric), rue de Vauban, 3, à Lyon (Rhône).
CHÉRON (Charles-Louis), régisseur de l'usine à gaz de Boulogne-sur-Seine, route de Versailles, 196 (Seine).
CHEVALIER (Pierre), quai de Grenelle, 61.
CHEVANDIER DE VALDROME (Eugène-Jean) ✱, rue de l'Arcade, 17.
CHEVALIER (P.-Marcel-Louis-Marie), gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.
CHOMRZYNSKI (Jean), ✱ ✱, boulevard Magenta, 139.
CHOLET (Lucien-Alfred), ingénieur du matériel fixe du chemin de fer d'Orléans à Châteaudun, rue Saint-Gilles, 14.
CHOPIN (Nicolas-Philippe), chef du service de la construction de la ligne de Saintes à Coutras, avenue de Paris, 133, à Bordeaux (Gironde).
CHOPITÉA (de) (Charles), à Barcelonne (Espagne).
CHRÉTIEN (Jean), rue de Monceau, 87.
CHUWAB (Charles), rue Nollet, 71.

Digitized by Google

MM. Ckiandi (Alexandre-Henri), chimiste, rue des Templiers, 25, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Clair (Alexandre) C. ✠ O. ✱, rue Duroc, 5.

Claparède (Frédéric-Moyse) ✱, à Saint-Denis (Seine).

Claparède fils (Frédéric), à Saint-Denis (Seine).

Clausel de Coussergues (Isidore), rue de Madrid 15.

Clémandot (Louis), 18, rue Brochant aux Batignolles.

Clémencin (Perfecto Maria), ingénieur des mines, à l'École des mines, à Madrid (Espagne).

Clerfayt (Adolphe), rue Feroustrée, 27, à Liége (Belgique).

Clément-Desormes, quai Castellane, 20, à Lyon (Rhône).

Clervaux (de) (Paul), boulevard Saint-Aignan, 2, à Nantes (Loire-Inférieure).

Closson (Prosper), avenue Trudaine, 29.

Cochot (George-Henri), constructeur, avenue Lacuée, 36).

Coignet (François), rue Lafayette, 130.

Colladon ✱, boulevard du Pin, 1, à Genève (Suisse).

Colle (Simon), aux forges et fonderies de Fourchambault (Nièvre).

Collet (Charles-Henri), rue d'Astorg, 4 *bis*.

Collin (Émile-Charles), fabricant de produits chimiques pour cristallerie, rue Quincampoix, 15.

Colson (Paul) ✠, Sierra Almagrera, par Murcia (Espagne).

Comte (Charles-Adolphe), rue de la Victoire, 59.

Conchon (Eugène-Gabriel), architecte, rue des Batignolles, 56.

Consolat, boulevard Malesherbes, 68.

Constant (Arthur), directeur des forges de Saint-Eyzies (Dordogne).

Contamin (Victor); boulevard de magenta, 2.

Conzette (Théobald-Louis-David), rue du Roi-de-Sicile, 40.

Coquerel (Paul), boulevard des Batignolles, 22.

Cormier (Paul-Alexandre), rue Montaigne, 15.

Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).

Cornesse (François), chef du service des Forges, au Creusot (Saône-et-Loire).

Cornuault (Émile-Léon-Félix), métallurgiste, rue Monsigny, 15.

Corpet (Lucien), constructeur-mécanicien, avenue Philippe-Auguste, 117 et 119.

Cossigny (de) (Jules-François), à Courcelles, commune de Cléry, par Saint-Parres-lez-Vandes (Aube).

Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).

Cotard (Charles), rue de Gramond, 17.

Cottrau (Alfred-Henri-Joseph), C. ✱ O. ✱ ✠, directeur de l'entreprise industrielle italienne de construction métallique, 228, via Toledo, à Naples (Italie).

Couard (Joseph-Félix), inspecteur de la voie des chemins de fer de Lyon, rue de Lyon, 20.

Digitized by Google

MM. Coulanghon (François-Marie), rue de Vauban, 2, à Lille (Nord).
Coullaut (Alfred-Louis-Joseph) ✱, à Marchena, Andalousie (Espagne).
Couriot (Charles-Henri-Gustave), rue de Londres, 48.
Cournerie (Amédée-Barthélemy) ✱, rue de la Saline, 1, à Cherbourg (Manche).
Cournerie (Jean-Baptiste-Eugène-Georges), rue Hélain, 85, à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 31.
Courtès-Lapeyrat (Georges-Clément), boul. Saint-Germain, 239.
Courtier (Louis), rue de Dunkerque, 43.
Courtin (Amédée-Augustin), chef d'atelier du chemin de fer du Nord, rue de Passy, 97, à la Chapelle.
Courtines (Jacques) ✱, avenue du Chemin-de-Fer, à Rueil (Seine-et-Oise).
Courtois (Antoine-Hippolyte), ingénieur à l'arsenal de Fou-Tchéou (Chine).
Courtois (Marie-Émile) ✱, ingénieur de la Compagnie des Forges et Fonderies de Terre-Noire-Voulte et Bességes, rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).
Couturaud (Lucien-Eugène), hôtel du Bar, à Abbeville (Somme).
Couture (Jules), directeur de l'exploitation des gaz et hauts fourneaux, rue Montgrand, 39, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Crampton ✱, Victoria-Street, 4, Westminster S. W., Londres.
Crépin (Christian), à la sucrerie de Soulty, par Larbret (Pas-de-Calais).
Créase (John), major d'artillerie, Eastney Barrach, Portsmouth.
Crespin (Auguste), boulevard de Clichy, 14.
Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 23.
Crétin (Gabriel) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 237.
Crozet (Émile), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
Crozet (J.-C.), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
Cuinat (Charles), rue de Turin, 15.
Cuyper (de) (Arnold-Adrien-Charles), ingénieur et représentant des ateliers de la Dyle, chez M. Ed. Fricher et Cie, cara 37, à Rio-Janeiro (Brésil).

D

MM. Daburon (Henri-Charles), ingénieur aux mines de Vicoigne, à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais).
Dagail (Louis), à Cognac (Charente).
Daguerre d'Ospital (Léon), calle de Prado, 20, Madrid (Espagne).

Digitized by Google

MM. Daguin (Ernest), O. ✱, rue Castellane, 4.
Dailly (Gaspard-Adolphe), O. ✱, maître de la poste aux chevaux, rue Pigalle, 67.
Daix (Victor), ✱, rue Cail, 25.
Dallemagne (Jules-Joseph-Jacques), avenue Trudaine, 26.
Dallemagne (Émile), directeur des charbonnages de Sclessin-Tilleur, près Liége (Belgique).
Dallemagne (Jules), directeur des ateliers de la Société de Sclessin, près Liége (Belgique).
Dallot (Auguste) ✱, rue de Douai, 17.
Dambricourt (Auguste), à Vezernes, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Damoizeau (Victor-Jules), boulevard de la Contrescarpe, 36.
Danvers (Henry), rue Taitbout, 16.
Darblay (Paul), à Corbeil (Seine-et-Oise).
Daret-Derville (Ch.-Am.), chef du bureau central du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Santiago, 59, à Valladolid (Espagne).
Daveluy (Marie-Alfred-Alphonse), attaché au service central de la voie au chemin de fer de Lyon, rue Saint-Antoine, 207.
David (Augustin), boulevard Magenta, 14.
David (Albert-Julien), rue du Luxembourg, 21.
Debarle (Louis), rue de l'Ourcq, 33, à la Villette.
Debié (Jules), quai des Grands-Augustins, 53.
Deby (Julien-Marie), rue de la Vanne, 21, à Bruxelles (Belgique).
Decaux (Charles-Auguste) ✱, rue Notre-Dame-des-Champs, 107.
Decescaud (Jean-Daniel), rue d'Austerlitz, à Angoulême (Charente).
De Coene (Jules) ✱, ingénieur divisionnaire au chemin de l'Ouest, rue du Champ-des-Oiseaux, 36, à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse (Charles), rue Blanche, 63.
Decoudun (Jules), constructeur mécanicien, rue de Montreuil, 77.
De Dion (Henri), O. ✱, rue de Moscou, 28.
Deffosse (Étienne-Alphonse), ingénieur de la construction au chemin de fer de Lyon, rue de la Liberté, à Grenoble (Isère).
Degousée (Edmond) ✱, rue de Chabrol, 35.
D'Eichthal (Georges), directeur des forges et hauts fournaux de Buglose, près Dax (Landes).
Dejey Jeanny, rue de la Perle, 18.
Delage (Pierre-Joseph), rue Amelot, 54.
Delanney (Hippol.), O. ✱, agent voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy (François-Albert), ✱ C. ✱ ✠, rue de Paris, 106, à Charenton-le-Pont (Seine).
Delano (William-Henri), quai Valmy, 117.
Delamarre, attaché au contrôle des travaux extérieurs du matériel à Saint-Étienne (Loire).

Digitized by Google

MM. DELAPERRIÈRE (Marie-Antoine), ingénieur de la construction de la Compagnie du Croisic, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
DELAPORTE (Georges) ✱, chimiste, rue des Bourdonnais, 37.
DELAPORTE (Charles-Antoine), filateur, à Maromme (Seine-Infér.).
DELAROYÈRE (Ernest-Joseph), à la sucrerie et raffinerie de Somain (Nord).
DELATTRE, boulevard Voltaire, 63.
DELAUNAY (Jules-Henri) ✱ ✠, chef de section au chemin de fer d'Angoulême à Marmande, à Bergerac (Dordogne).
DELAUNAY (Louis-Marie-Gabriel), rue du Port, 9, à Saint-Denis (Seine).
DELEBECQUE ✱, rue de Douai, 6.
DELETTREZ (Eugène-Géry), rue Taitbout, 29.
DELIGNÈRES (Élie), fabricant de tubes en fer, à Montluçon (Allier).
DELIGNY (Ernest), rue François Ier, 18.
DELMAS (Fernand), faubourg Poissonnière, 110.
DELOM (Florentin), rue Ramey, 19.
DELPORTE (Hugues), à la Compagnie des Dombes, à Bourg (Ain).
DELSA (Hubert) ✱, constructeur, rue de la Limite, 18, à Liége (Belgique).
DEMANEST (Edmond), rue de Berlin, 27.
DEMANS (Benoît-François-Noël), au Chambon-Feugerolles (Loire).
DEMEULE (Gustave) ✱, rue de Paris-et-Henry, à Elbeuf (Seine-Inférieure).
DEMIMUID (René) ✠, architecte, rue de Rennes, 65.
DENFER (Jules-François-Maxime), architecte, rue de la Santé, 9.
DENIEL (Sébastien) ✱ ✱, rue Duguay-Trouin, 2, à Brest (Finistère).
DENIS (Gustave), à Fontaine-Daniel, près Mayenne (Mayenne).
DENIS (Ernest), rue de Beaune, 31.
DENISE (Lucien), passage Violet, 12.
DEPÉRAIS (Ch.), Société générale des Aluns, à Civita-Vecchia (Italie).
DEPREZ (Marcel), rue Cassini, 16.
DERENNES (Jean-Baptiste-Ernest), rue du Bocage, 7, dans l'île Saint-Denis.
DEROIDE (Auguste), cité Rougemont, 3.
DEROUALLE (Victor), à Nantes (Loire-Inférieure).
DESBRIÈRE ✱ C. ✱ O. ✱ ✠, rue de Provence, 56.
DESFORGE (Louis-Alphonse), chef de section au chemin de fer de l'Est, à Troyes (Aube).
DESGRANGE (Hubert) ✱ C. ✱ ✱ ✠, boulevard Haussmann, 135.
DESHAYES (Victor), à Terrenoire (Loire).
DESJARDINS (Jean-Marc-Édouard), rue de Flandre, 100.
DESMARET (Paul-Louis), boulevard Saint-Michel, 97.

Digitized by Google

MM. Desmasures (Camille) O. ✠, boulevard Haussmann, 64.
Desmousseaux de Givré (Émilien) ✠, rue de Lille, 79.
Desnos (Charles), ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Magenta, 11.
Desnoyers (Alfred), maître de forges, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 36.
Després (Alphonse-Victor-Guillaume), à Martigné-Briand (Maine-et-Loire).
Despret (Édouard) ✠, ingénieur en chef, directeur des voies et travaux du chemin de fer Grand-Central belge, rue de Trèves, 33, à Bruxelles (Belgique).
Devaureix (Michel-Jules), rue des Poissonniers, 11, à Saint-Denis.
Deville (Anatole), rue de Lyon, 43.
Devilliers (Émile-Joseph), avenue des Gobelins, 22.
Dez (Jules), représentant de la maison Degousée, via del Duomo, 64, à Naples (Italie).
Dézelu (Jacques-Isidore), chef d'atelier au chemin de fer de l'Ouest, rue Saussure, 116, aux Batignolles.
D'Hamelincourt (Éloi-Joseph), constructeur d'appareils de chauffage et de ventilation, rue Salneuve, 29, aux Batignolles.
D'Hubert (Joseph-Adolphe-Constant), directeur de la Compagnie Lesage, rue de Richelieu, 110.
Diard (Henri-Pierre-Alfred), à Amboise (Indre-et-Loire).
Didierjean (Eugène) ✠, à Saint-Louis (Lorraine).
Dietz (David), ingénieur du matériel roulant au chemin de fer de l'Est, rue Pajol, 22.
Doat (Henri), directeur de la Compagnie des Eaux, à Suresne (Seine).
Dolabaratz (Louis-Alfred), ingénieur à la maison Cail, rue des Bassins, 15, Champs-Elysées.
Dombrowski (Thomas-Adolphe), ingénieur des travaux et de la surveillance au chemin de fer de l'Est, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
Donnay (Charles), constructeur, impasse Rébeval, 23.
Donon (Alfred-Adrien), rue d'Argenson, 3.
Dorion (Joseph-Charles-Marie), directeur des Mines de Dombrowa (Pologne russe).
Dornès (Auguste-Charles-Joseph), ingénieur du chemin de fer de Vitré, à Fougères (Ille-et-Vilaine).
Douau (Maximilien-Jean-Bernard), faubourg Saint-Denis, 222.
Doury (Paul), rue de Compiègne, 2.
Dru (Saint-Just) (Antoine), route de Fontainebleau, à Gentilly (Seine).
Dru (Léon-Victor-Edmond), rue Rochechouart, 69.
Dubied (Henri-Édouard), à Couvet, par Pontarlier (Suisse).

Digitized by Google

MM. Dubois (Eugène-Auguste), rue de l'Escaut, à Anzin, près Valenciennes (Nord).

Dubois (Guillaume) ✠, directeur des charbonnages de Marchage, près Seraing, à Flamalle, près Liége (Belgique).

Dubois (Théophile-Marie-Auguste), rue Bonaparte, 86.

Dubuc (Michel-Maximilien), constructeur-mécanicien, rue de Turbigo, 68.

Ducrot (Édouard-Jean-Baptiste), constructeur d'appareils de chauffage, rue de la Folie-Méricourt, 38.

Dufay (Eugène-Isidore), gérant de la sucrerie de Chivry-Cossigny, par Brie-Comte-Robert (Seine-et-Marne).

Dufaure (Gabriel), chef du bureau du matériel et de la traction au chemin de fer des Charentes, à Saintes (Charente-Inférieure).

Dufournel (Alphonse-Théodore) ✠, à Gray (Haute-Saône).

Dufrené (Hector-Auguste), agence des brevets, rue de la Fidélité, 10.

Dugourd, rue de la Ferme-des-Mathurins, 25.

Dujour (Nicolas-Alexis), chef du bureau des études du matériel fixe au chemin de fer de Lyon, avenue Daumesnil, 16.

Duluc (Pierre-Auguste-Marie-Albert), avenue de Villiers, 18.

Dumont (Marie-Georges), sous-inspecteur au chemin de fer de l'Est, rue du Faubourg Saint-Denis, 187.

Dumont (Henri), 14, rua de Visconde de Juhruma, à Rio-Janeiro (Brésil).

Dumont (Louis-François), rue Sedaine, 55.

Duparc (Georges), fabricant de briques, à Sarcelles (Seine-et-Oise).

Dupont (Albert), rue Duperré, 19.

Dupuis (Edmond-Louis), rue de la Pompe, 4, à Passy.

Dupuy (Léopold-Philibert), rue de Flandre, 108.

Durand (Eugène-Alfred), constructeur-mécanicien, avenue d'Eylau, 143.

Durant (Léon-Alexandre-Émile) ✠, sous-chef du bureau des études du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, rue Linné, 13.

Durassier (Léon-Gabriel-Alexandre), représentant des houillères de Ferfay et Amas, avenue de Wagram, 28.

Durenne ✠, constructeur, quai Napoléon, 29, à Courbevoie.

Durenne (Antoine) O. ✠, maître de forges, rue de la Verrerie, 30.

Durocher (Constant), à Coulommiers (Seine-et-Marne).

Duroeux (Adolphe-Auguste), boulevard Magenta, 48.

Du Roy de Blicquy (Arthur) ✠, ingénieur en chef de la Société métallurgique et charbonnière belge, place de Louvain, 1, à Bruxelles (Belgique).

Durval (Maurice-Charles), à Piombino, près Massa Maritima (Italie).

Digitized by Google

MM. Duthu (Paul-Louis), ingénieur des hauts fourneaux de MM. Holtzer, Dorian et Cie, à Ria (Pyrénées-Orientales).
Duval (Raoul), rue François Ier, 45.

E

MM. Eassie (William), Child's Hill Hampstead, N. W., Londres (Angleterre).
Eiffel (Gustave), rue Fouquet, 46, à Levallois (Seine).
Ellis (Théodore), Hartford Connecticut, États-Unis (Amérique).
Ellissen (Albert) ✠ ✠ ✠, rue Abbatucci, 21.
Elmering (Adolphe), rue de la Ferme, à Rouen (Seine-Inférieure).
Elwell père, à Rosny-sur-Seine (Seine-et-Oise).
Elwell (Thomas), constructeur, avenue Trudaine, 26.
Emonin (Henri), rue de Bondy, 72.
Engelmann, rue Bellocq, 8, à Pau (Basses-Pyrénées).
Epstein (Jules-Eugène), rue de Berri, 4.
Ermel (Frédéric) ✠ ✠, cité des Fleurs, 51, aux Batignolles.
Escalle (Pierre), ingénieur aux usines de Tamarès (Gard).
Escande (Antoine-Marie), entrepreneur de constructions en fer, rue de Vaugirard, 177.
Estoublon (Henry), directeur des ateliers de la Compagnie française de matériel de chemin de fer, quai de Bercy, 70.
Etchats (Raymond), ingénieur consultant des mines de Carthagène (Espagne).
Étienne (Antoine) ✠, rue Paradis-Poissonnière, 13.
Euverte (Jules) ✠, directeur des usines, à Terre-Noire (Loire).
Évrard (Alfred), directeur de la Compagnie des houillères de Ferfay-Auchel, près Lillers (Pas-de-Calais).
Évrard (Maximilien), à Saint-Etienne (Loire).

F

MM. Fabre (Émile-Jean-Jacques-Ernest), rue Fontaine, 32.
Falguerolles (Eugène), ingénieur, chef du matériel et de la traction des chemins de fer des Charentes à Saintes (Charente-Inférieure).
Faliès (Jacques-Alfred) ✠, avenue de Paris, 24, au Mans (Sarthe).
Farcot (Joseph) ✠, constructeur, au port Saint-Ouen (Seine).
Farcot (Emmanuel), avenue de Catinat, 1, à Saint-Gratien (Seine-et-Oise).
Farcot (Abel), constructeur, au port Saint-Ouen (Seine).

Digitized by Google

MM. Farcot (Paul-Martial-Joseph), ingénieur de la maison Farcot et fils, avenue de la Gare, 15, à Saint-Ouen (Seine).

Faure-Beaulieu, filateur de laine, à Gravelle-St-Maurice (Seine).

Fayol (Henri), ingénieur principal des houillères, à Commentry (Allier).

Fèbvre (Armand), rue de Ponthieu, 23.

Feer (Daniel-Paul), rue de Pascale, 35, à Bruxelles (Belgique).

Fellot (Jean), rue de Moscou, 16.

Fernex (de), rue Perdonnet, 9.

Fernique (Albert) ✱, chef des travaux graphiques à l'École centrale, rue de Fleurus, 34.

Férot ✱, rue d'Aumale, 14.

Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue de la Tour, 117, à Passy.

Fèvre (Henri), architecte, rue de la Ville-l'Evêque, 34.

Fichet (Pierre-Anatole), rue de Clichy, 21.

Fiévet (Ernest-Émile), place Saint-Denis, 16, à Amiens (Somme).

Flachat (Jules) ✱, rue de la Gare, 12, à Niort (Deux-Sèvres).

Flachat (Yvan), rue de Grenelle-Saint-Germain, 102.

Flaman (Nicolas-Charles-Eugène), rue Saint-Laurent, 52, à Lagny (Seine-et-Marne).

Flavien (Émile-Georges) ✱, rue Concordet, 63.

Fleury (Edme), au Tréport (Seine-Inférieure).

Fleury (Pierre-Élie-Jules) ✱ ✱, rue Perdonnet, 13.

Fleury (Jean-Simon) ✱ O. ✱, au château de l'Ermitage, près Bélâbre (Indre).

Fleury (Jules-Auguste), rue de Rennes, 85.

Flicoteaux (Achille), rue de Grenelle-Saint-Germain, 59.

Floucaud (Arnaud-Joseph), ingénieur de la Compagnie des bassins houillers du Hainaut, à Illiers (Eure-et-Loir).

Fockedey (Henri-Charles-Marie), associé de la maison Seulfort, Mallier et Meurice, à Maubeuge (Nord).

Fonbonne (de) (Charles-Alexandre), boulevard de Magenta, 117.

Fontaine (Hippolyte), rue Saint-Georges, 52.

Fontenay (de) (Anselme) ✱, ingénieur-chimiste au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 77.

Fontenay (Tony), rue Lesdiguières, 15, à Grenoble (Isère).

Fontenay (de) (Eugène) ✱, rue de l'Arbalète, 14, à Autun (Saône-et-Loire).

Forey (Miltiade) ✱, directeur des usines métallurgiques, à Montluçon (Allier).

Forquenot (Victor) ✱, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 24.

Forquenot (Armand) ✱, rue de Provence, 34.

Fortet (Charles-Élie-Dioclès), chef de section des travaux neufs au chemin de fer du Nord, à Bavay (Nord).

Digitized by Google

MM. Fortin-Herrmann (Louis), boulevard Montparnasse, 138.
Fortin-Herrmann (Émile), boulevard Malesherbes, 92.
Fouché (F.-H.), constructeur, rue des Écluses-Saint-Martin, 30.
Foulon y Tudo (Joseph-John), ingénieur en chef de la maison Batllo Hermanos, à Barcelone (Espagne).
Fouquet (Louis-Ernest) ✱, chez M. Gouin, avenue de Clichy, 176.
Fouret (Georges-Jean-Baptiste), rue Billault, 16.
Fournier (Louis-Victor), rue de la Cerisaie, 15.
Fournier (Victor) ✱, métallurgiste, boulevard de l'Empereur, 178.
Fournier, rue de la Ville-l'Evêque, 40.
Fournier (A.), architecte, boulevard du Chemin-de-Fer, 60, à Orléans (Loiret).
Fradéra (Richard), 1, calle del Conde de Cesalteo, Barcelone (Espagne).
Fraenkel (Henri), au chemin de fer du Nord-Est, boulevard du Nord, 80, à Bruxelles (Belgique).
Fraix (Félix), rue de Châteaudun, 42.
Francez (Pierre-Auguste-Georges), rue de Rivoli, 28.
Francisque-Michel (Roland-Victor), rue de l'Ancienne-Comédie, 13.
François (Joseph), à Seraing (Belgique).
Fresnaye (Adrien-Aimé), fabricant de papiers, à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frey fils (André-Pierre), constructeur, impasse Rébeval, 23, à Belleville.
Frézard (Stanislas), rue Fontaine-au-Roi, 13.
Frichot, directeur de la Compagnie linière, à Pont-Remy (Somme).
Friedmann (Alexandre), à Vienne (Autriche).
Frion (Antoine-Émile), avenue de Choisy, 158.
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 53.
Fuchet (Pierre-Paul), carrefour de l'Observatoire, 2.

G

MM. Gaget (Jean-Baptiste), canalisation d'eau, couverture et plomberie d'art, 23, rue Gutemberg (Boulogne-sur-Seine).
Gaildry (Cyprien), chaussée du Maine, 4.
Gailleux (Antoine), sous-chef de section au chemin de fer du Nord de l'Espagne, Oficinas de la Via Estacion del Valladolid (Espagne).
Gallais (A.-Pierre), hôtel du Commerce, au Creusot (Saône-et-Loire).
Gallaud (Charles), chef de bureau de la voie et des travaux au chemin de fer de ceinture, rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges 6.
Gallois (Charles), directeur de la sucrerie de Francières, par Pont-Sainte-Maxence (Oise).

Digitized by Google

MM. Gambaro, inspecteur principal du matériel au chemin de fer de l'Est, à la Gare, rue et place de Strasbourg.

Gandillot (Jules), rue Boileau, 12, à Auteuil.

Ganneron (Edmond), O. ✠, rue de Boursault, 18 (aux Batignoles).

Garate Galo, à Haro, Vieille-Castille (Espagne).

Garcia (Manuel-Charles-Auguste), à Saintes (Charente-Inférieure).

Gargan (Louis-Xavier), à Livry (Seine-et-Oise).

Garnier (Jules-Jacques) ✠ ✠, place Delaborde, 6.

Gasc de Neeff (Napoléon-Charles-Alfred) ✠, ingénieur de la fabrique de poudre de mine, avenue de la Reine 131, à Bruxelles Schaerbeck (Belgique).

Gast (Édouard-Victor), à Issenheim (Alsace).

Gauchot (Paul-Élie), rue du Faubourg-Saint-Martin, 177.

Gaudet, O. ✠, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).

Gaudineau (Louis), constructeur d'appareils à gaz, rue Martel, 17.

Gaudry (Jules), boulevard de Magenta, 137.

Gaultier (Georges-Léon-Louis), rue Clapeyron, 5.

Gaumy (Michel), à Saint-Jean-d'Angely (Charente-Inférieure).

Gaune (André-Joseph-Émile), à Manáos, province de l'Amazonas (Brésil).

Gaupillat (Ernest), au Bas-Meudon (Seine-et-Oise).

Gauthey (Émile-Mac-Marius), industriel, rue Charlot, 48.

Gauthier (Charles-Prosper) ✠, avenue de Villiers, 97.

Gautier (Paul-Émile), rue du Temple, 20.

Gautier (Ferdinand), ingénieur de la Société des fers et aciers rue Lepelletier, 20.

Gavand (Eugène-Henri), C. ✠, C. ✠ ✠, à Cousance (Jura).

Gayrard (Gustave) ✠, ingénieur en chef du chemin de fer de Ceinture, rue de Berlin, 33.

Geai (Urbain-Jean), directeur de la Société de constructions navales, quai Colbert, au Havre (Seine-Inférieure).

Geay (Charles-Louis), architecte, à Cognac (Charente).

Gelot (Grégoire-Eugène), ingénieur, chez M. Collin, rue du Pont, 5. à Suresnes (Seine-et-Oise).

Genissieu, administrateur de la Compagnie générale des voitures de Paris, rue Neuve-des-Mathurins, 13 *bis*.

Genissieu (Gustave), rue Neuve-des-Mathurins, 13 *bis*.

Georgin (Constant), rue de Belleville, 136.

Geoffroy (Octave), aux ateliers du chemin de fer du Nord, à Charleroi (Belgique).

Gerber (Eugène), directeur de l'exploitation des chemins de fer de Roumanie, rue Mogossei, 53, à Bucharest.

Germon (Alexis), C. ✠, ingénieur de la traction au chemin de fer de Paris à Lyon, rue de Lyon, 8.

Geyler (Alfred-Édouard), métallurgiste, rue de la Victoire, 16.

Digitized by Google

MM. Ghesquière-Dierickx, quai Henri IV, 34.
Gibon (Alexandre-L.) ✱, directeur des Forges de Commentry (Allier).
Giffard ✱, rue de Marignan, 14.
Gignoux (Arthur-Joseph), rue Doudeauville, 98.
Gigot (Paul-Eugène), rue du Faubourg-Poissonnière, 61.
Gil (Claudio), boulevard des Capucines, 6.
Gillon (Auguste), G. ✠ ✱ ✱ ✱ ✱, à Renory-Angleur-lez-Liége (Belgique).
Gillot (Auguste), avenue de Villiers, 101.
Gillot (Isidore-François-Louis), quai de la Râpée, 54.
Gillotin (Émile), à Plainfaing (Vosges).
Girard (Adam-Charles), rue des Écoles, 20.
Girard (Joseph), Grande-Rue, 6, à Albertville (Savoie).
Gislain, distillation des schistes bitumineux, rue de Turin, 32.
Gisper (de) (Henrique), calle de San Simplicio, 4, à Barcelonne.
Gobert (Jean-Baptiste), ingénieur de la maison Eiffel et Cie, constructeurs, avenue de Villiers, 110.
Godefroy (Louis-Alexandre), à Eygleters, près Tulle (Corrèze).
Godfernaux, maison Gouin, 176, avenue de Clichy (Batignolles).
Godefin (Félix-Marie-Jean), à Saint-Étienne (Loire).
Goldenberg (Paul-Frédéric-Alfred), à Zornhoff, près Saverne (Alsace).
Goldschmidt (Philippe), IX Liechtenstein strasse, 11, à Vienne (Autriche).
Goldschmidt (de) (Théod.), Elisabeth strasse, 3, à Vienne (Autriche).
Gondolo (Antonio-Guido), contrôleur du matériel des chemins de fer de la haute Italie, à Antica, stazione per Monza, à Milan (Italie).
Gonzalez-Frossard (Antonio), calle de Tallers, 78, à Barcelone (Espagne).
Gorria (Hermenegildo), ingénieur à l'usine à gaz, Paseo, 5, à Zaragoza (Espagne).
Goschler (Charles), C. ✱, villa Yermoloff, à la Grande Tronche, près Grenoble (Isère).
Gottereau (Georges-Jean-Marie), rue de Douai, 9.
Gottschalk, ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, Maximilian strasse, 5, à Vienne (Autriche).
Gouault (Pierre-Alexandre), rue Jeanne-Darc, 25, à Rouen (Seine-Inférieure).
Gouilly (Henri-Louis-Auguste), à Tunis (Barbarie).
Gouin (Ernest), C. ✱, constructeur, rue de Cambacérès, 4.
Gouin (Jules-Édouard), avenue de Clichy, 176.
Goumet, constructeur de pompes, rue du Temple, 118.
Goupillon (Arthur-Jules-Désiré), chef du service central du chemin de fer de l'Hérault, rue Nollet, 81, à Batignolles.

Digitized by Google

MM. Gouvy (Alexandre), gérant et copropriétaire des forges de Dieulouard (Meurthe-et-Moselle).

Gouvy (Émile), maître de forges, à Goffontaine (Prusse rhénane).

Govignon (Henri-Bonaventure), au chemin de fer d'Arzew, à Saïda (Algérie).

Grall (Isidore), inspecteur des steamers, les gondoles, hirondelles et abeilles de la Gironde à Lormont (Gironde).

Grand fils (Julien), directeur des forges, à Oullins, près Lyon (Rhône).

Grasset (Louis-Ch.-Constant), C. ✱, chef du service de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, Léganitos, 54, à Madrid (Espagne).

Grebus (Charles), C. ✠ ✱, ingénieur aux chemins de fer algériens, à Alger (Algérie).

Grégory (Georges-Aristide), chef de section aux chemins de fer des Charentes, à Tarbes (Hautes-Pyrénées).

Greiner (Adolphe), chef du service des aciéries de Cockerill, à Seraing (Belgique).

Grelley (Pierre-Jules-Armand), à la manufacture des glaces, chemin de la Gare, 1, à Saint-Denis (Seine).

Gressier (Louis-Edmond), rue de Lyon, 3.

Grièges (de) (Louis-Maurice), sous-ingénieur de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue de Clichy, 11.

Grouvelle (Philippe-Jules), rue des Écoles, 26.

Gruau (Félix), ingénieur à la maison Gouin et Cie, avenue de Clichy, 176, à Batignolles.

Guébhard (Alfred), O. ✠ ✠ ✱, rue de Milan, 11.

Guébin (Jules), fabricant d'appareils d'éclairage, rue St-Gilles, 12.

Guénivet (Ernest), chef de la verrerie de la Croix-Blanche, à Vierzon (Cher).

Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Guerbigny (Germeuil-Gaston), chef d'institution, à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise).

Guérin de Littrau (Edgar), O. ✠ ✱, rue Blanche, 3.

Guéroult (Paul), rue Lafayette, 150.

Guettier (André), rue, Vital 35.

Guibal (Théophile), ✱ O. ✠, professeur à l'École des Mines de Mons, rue des Groseilliers, 43, à Mons (Belgique).

Guillaume (Charles) ✱, sous-directeur des chemins de fer du Nord de l'Espagne, à Madrid (Espagne).

Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 36.

Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).

Guillot (Gustave) ✱, avenue des Ternes, 85.

Guisan (Olivier-René), ingénieur aux chemins de fer de la Suisse occidentale, avenue de Rumine, 2, à Lausanne (Suisse).

Digitized by Google

MM. Guntz (Charles), rue du Pré-aux-Clercs, 5.
Guyenet (Constant-Auguste), boulevard de Magenta, 83.
Guyot-Sionnest (Étienne-Ernest), rue Philippe-de-Girard, 54.

H

MM Haass (Henri), C. ✱ O. ✠ O. ✱ ✠ ✱, chef de la maison Krupp, rue de Provence, 65.
Hack (Édouard-Louis), chaussée de la Muette, 7, à Passy.
Hallié (François-Ernest) ✱, fondateur de l'Institut d'arts et métiers de Fermo (Italie).
Hallopeau (Paul-François-Alfred), inspecteur en chef du bureau central du matériel fixe du chemin de fer de Lyon, rue de Lyon, 3.
Halot (Alphonse-François-Marie-Joseph), directeur de la Société des ateliers de la Dyle, à Louvain (Belgique).
Hamelin (Paul), chimiste, rue Lebon, 5, aux Ternes.
Hamelin (Gustave), mécanicien, rue Lebon, 5, aux Ternes.
Hamers, rue Morère, 13 (14e arrondissement).
Hamoir ✱, maître de forges, à Maubeuge (Nord).
Hanrez (Prosper), directeur de la Société Solvay et Cie, usine de Varangeville-Dombasle, à Dombasle (Meurthe-et-Moselle).
Harmand (Eugène-Auguste), à Épernay (Marne).
Haugton (Benjamin), 1, Westminster Chambers, Victoria street, London, S. W. (Angleterre).
Helson (Charles), rue Rodier, 47.
Helson (Cyriaque), constructeur de tubes en fer, à Hautmont (Nord).
Hély-d'Oissel (Paul-Frédéric), rue de Chaillot, 70.
Henderson (David-Mar.), ingénieur en chef de douanes impériales chinoises, à Shang-Haï (Chine).
Henry (Jean-Edmond), rue du Poteau, 19.
Henry (René-Pierre-Jules-Marie), à Aron (Mayenne).
Henri-Lepaute fils (Édouard-Léon), horloger, rue Lafayette, 6.
Henriet (Louis-Jean), ingénieur de la Compagnie des Docks de Saint-Ouen, rue de Chabrol, 28.
Herbet (Auguste), ingénieur aux forges de Tamaris, près Alais (Gard).
Hermary (Hippolyte-Albert-Joseph), agriculteur, à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Herpin (Louis), ingénieur des travaux neufs, rue Dadier, 6 *bis*, à Valenciennes (Nord).
Hersent (H.), rue de Naples, 4.
Herscher (Charles-Georges), constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.
Hervey-Picard (Paul-Philippe), architecte, rue de Rome, 74.

Digitized by Google

MM. Hervier (Alfred-Charles), boulevard Beaumarchais, 102.
Heurtebize (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Chappe, 4, au Mans (Sarthe).
Hignette (Jules), boulevard Voltaire, 13.
Hinstin (Napoléon), boulevard de Strasbourg, 15.
Hittorf (Henri-Bonaventure), rue Saint-Lazare, 44, à Bruxelles (Belgique).
Honoré (Frédéric), directeur des Établissements de la Risle, Pont-Audemer (Eure).
Houel (Jules-Gervais-Auguste), avenue des Champs-Élysées, 75.
Houlbrat (Abel), rue de Rome, 63.
Houlon (Amédée-Joseph), rue Bertin, 2, à Reims (Marne).
Hourier (Évariste) ✿, rue des Acacias, 20, aux Ternes.
Houssin (Jules-Clément), rue de Châteaudun, 42.
Hovine (Alfred) ✱, rue de Lyon, 61.
Hovine (Ernest), rue de Lyon, 61.
Huber (William) ✱, rue de Miroménil, 76.
Huet (Alfred), métallurgiste, rue de la Victoire, 46.
Huet (Paul-Jean), rue d'Hauteville, 36.
Hugon (Pierre), rue de Vaugirard, 165.
Huguenin (Jules), maison Marius Boelger, à Zell dans le Wiesenthal (Grand Duché de Bade).
Huguet (Auguste-Adrien), directeur de la Compagnie des chemins de fer de Barbezieux à Châteauneuf, avenue de Villiers, 103.
Hunebelle aîné (Jules), O. ✱, entrepreneur de travaux publics, rue de Solférino, 2.

I J

MM. Ibran (Jérôme), directeur des forges et hauts fourneaux de Mières, province de Oviedo (Espagne).
Imbert (Jean-Jules), ingénieur à la Compagnie du touage de Conflans à la mer, quai de Paris, 42, à Rouen (Seine-Inférieure).
Imbert (Agamemnon), constructeur, à Saint-Chamond (Loire).
Imbs (Alexis-Joseph-Albert), avenue Joséphine, 41.
Jacques (Léon), ingénieur des ateliers de la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).
Jacques (Jean-Nicolas), ingénieur, chef de division à la Cie des Dombes à Cuisery (Saône-et-Loire).
Jagnaux (Raoul), boulevard Voltaire, 47.
Jalibert (Louis-Ferdinand), rue Daru, 15.
Jamin (Jules-Édouard), O. ✱, à Madiran, par Castelnau-Rivière-Basse (Hautes-Pyrénées).

Digitized by Google

MM. Janicki (Stanislas), directeur de la Société de Touage sur la Moskowa, à Moscou (Russie).

Jantot (Jacques-Edouard), chez M. Flécheux-Lainé, constructeur, rue Saint-Julien, 9, à Rouen (Seine-Inférieure).

Janzé (de) (Maxime), ingénieur aux usines d'Aubin (Aveyron).

Japy (Jules-Auguste-Wilhem), manufacturier, à Beaucourt (Haut-Rhin).

Jauge (Amédée), rue des Batignolles, 7.

Javal (Ernest), ingénieur des mines, rue de Téhéran, 13.

Jeanson (Charles-Marie-Auguste), rue de Seine, 69.

Jequier (Henri-Jean), au Bois-Charme, près le Châtelet-en-Brie (Seine-et-Marne).

Joannis (de) (Léon), chez MM. J. Barra et Cie, à Bilbao (Espagne).

Jolly (César) ✱, à Argenteuil (Seine-et-Oise).

Joly (de) (Théodore), boulevard Saint-Germain, 225 *bis*.

Joly (Charles-Victor), ingénieur de la Société métallurgique de l'Ariége, près Foix (Ariége).

Jomier (Jean-Henri), constructeur de machines agricoles, rue Fontaine-au-Roi, 10.

Jones (Hodgson), 26 Great George street, S. W. Londres (Angleterre).

Jonte (Émile-Frédéric) ✱, directeur des usines et forges de Franche-Comté, avenue Daumesnil, 116.

Jordan (Samson) ✱, professeur de métallurgie à l'École centrale, boulevard Malesherbes, 122.

Joubert (Léon-Philippe), rue Pigalle, 46.

Jouffret (Maximin), à Villars-les-Dombes (Ain).

Jourdain (Maurice-Frédéric) ✱, boulevard Haussmann, 56.

Jourdan (Émile-François), rue de Constantinople 28.

Jourdan (Ernest-Nicolas), sous-directeur de l'usine à gaz de Strasbourg (Alsace-Lorraine).

Jousselin (Paul) ✱, quai du Marché-Neuf, 4.

Jouvet (Ernest), ingénieur en chef à l'arsenal de Fou-Tchéou (Chine).

Joyant (Charles-Paul-Abel), ✱ O. ✱, rue Labruyère, 19.

Juanmartinena (de) (José), à Renteria, province de Guipuzcoa (Espagne).

Jubécourt (de) (Alexandre-Félix), à Digoin (Saône-et-Loire).

Jubecourt (de) (Barthélemy), directeur de la fabrique de faïence et porcelaine, à Vaudrevange, par Sarrelouis (Prusse rhénane).

Jubert (Paul-Jacques), rue d'Aumale, 10.

Jullin (Aimé), ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans à Châlons, rue Notre-Dame, 116, à Troyes (Aube).

Juncker (Paul), boulevard de Clichy, 12.

Junien (Marius), rue Nadizdinkia, 12, à Odessa.

Digitized by Google

MM. JURY (Joseph), à Istres (Bouches-du-Rhône).
JURY (Antoine), à Marmande (Lot-et-Garonne).

K

MM. KERN (Émile-Jean-Rodolphe), boulevard Richard-Lenoir, 38.
KISLANSKI (Wladislas), ✠ ✠ ✠, rue de la Loi, 143, à Bruxelles (Belgique).
KOCH (Louis-Adolphe), ingénieur des ponts et chaussées, à Nouméa (Nouvelle-Calédonie).
KOMARNICKI (Sigismond), ingénieur principal aux chemins de fer de la Theiss, Marie-Valérie-Gasse, 1, à Pest (Hongrie).
KOWALSKI (Alfred-Marie), inspecteur de l'exploitation au chemin de fer du Nord, rue Perdonnet, 13.
KRAFT (Jean), ingénieur en chef du service des machines à la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).
KREGLINGER, rue Stassart, 141, à Ixelles-lez-Bruxelles (Belgique).
KRONENBERG (Ladislas), à Varsovie (Pologne).
KRÉMER (Philippe), constructeur, rue de Bourgogne, 50.
KREMER (François), Demidoff Pereoulok n° 3, Log n° 33, à Saint-Pétersbourg (Russie).
KRUPP (Alfred), O. ✠ C. ✠ ✠ ✠ ✠ ✠, à Essen (Prusse).

L

MM. LABORDE (Auguste-Jules), à la sucrerie de Montdidier (Somme).
LABORIE (de) (Alexandre), ✠ ✠, boulevard de Sébastopol, 27.
LABOULAYE ✠, rue de Madame, 60.
LABOUVERIE (Prosper), à Bouillon, province de Luxembourg (Belgique).
LACRETELLE (Claude-Étienne), à Bois-d'Oingts (Rhône).
LACROIX (Antoine), chimiste à la manufacture des glaces, à Hautmont (Nord).
LAFERRÈRE (Jean), ingénieur aux chemins de fer du Sud-Est, rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).
LAFON (Adrien), à Cuq-Toulza (Tarn).
LAFORESTRIE (Joseph-Marie-Léon), ingénieur du gouvernement haïtien, à Port-au-Prince (Haïti), rue de la Victoire, 68.
LAGARD (Léopold-Léonce), à Serrières de Briord (Ain).
LAGARDE (Nicolas-Pierre-Louis-Napoléon-Alphonse), inspecteur du chemin de fer de Ceinture, avenue d'Essling, 27.

Digitized by Google

MM. Lainé père, fondeur, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Lainé fils (Édouard-Louis-Armand), fondeur, rue des Trois-Bornes, 15.
Laligant (Paul), fabricant de papiers, à Maresquel, par Campagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 43.
Lambert (Léon-Arthus), fabricant de sucre, à Toury (Eure-et-Loir).
Laming (Joseph-Mowbray), rue du Cherche-Midi, 64.
Lancel (Augustin-Jules), ingén. de la voie, à Tergnier (Aisne).
Landry (Louis-Pierre), boulevard Contrescarpe, 32 *bis*.
Landsée (de) (Adolphe), ingénieur en chef du matériel des chemins de fer d'Asie, rue Sofiali-Pira, 7, à Constantinople (Turquie).
Langlois (Auguste), à l'usine à gaz, à Reims (Marne).
Langlois (Charles), rue de Vienne, 17.
Langlois (Ernest-Hippolyte), directeur gérant de l'institut d'arts et métiers, à Fermo (Italie).
Lantin (Maurice), filateur, à Bernouville (Eure).
Lantrac (Eug.-Adolphe), avenue Joséphine, 39.
Lara Ordonez (de) (Alfred), rue Turbigo, 76.
Larochette (de) (Jérôme) ✻, associé gérant de la Compagnie des hauts fourneaux et fonderies de Givors, cours du Midi, 11, à Lyon (Rhône).
Larrue (Louis), à Paris.
Larsen (Georges-Daniel), ingénieur de la construction de Tramways de Paris, rue de Martinval, 11, à Levallois-Perret.
Lartigue (Henri), Grande-Rue de La Tour, 60, à Passy.
Lartigue (Charles-François), O. ✻, rue Gavarni, 11.
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), rue Saint-Lazare, 28.
Lasson (Alphonse), faubourg Saint-Martin, 12.
Lathuillière (Jean-Claude), constructeur, rue Delambre, 22.
Launoy (Louis-Ernest), rue du Canal-Saint-Martin, 18 et 22.
Laurens (Camille) ✻, rue Taitbout, 82.
Laurent (Lambert), rue de Pessac, 192, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Albert-Pierre-Laurent), contrôleur du matériel à la Compagnie des chemins de fer du Midi, boulevard Magenta, 99.
Laurenzana (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59, à Naples (Italie).
Lavalley, O. ✻ C. ✠, rue Murillo, 18.
Lavallée (de) Poussin (Oscar-Gustave), ingénieur en chef de la Compagnie des Eaux, place Vendôme, 16.
Laveissière (Émile-Jean), rue de la Verrerie, 58.
Lavezzari (Émile) ✻, rue de Constantinople, 12.
Lebargy, ingénieur de la voie, à Amiens (Somme).

Digitized by Google

MM. Lebel (Gaston-Jules), directeur de la tuilerie de Montchanin-les-Mines (Saône-et-Loire).

Leblanc (Félix) ✱, professeur à l'École centrale, vérificateur du gaz de la ville de Paris, rue de la Vieille-Estrapade, 9.

Le Blond (Camille), avenue de Paris, 63, à Niort (Deux-Sèvres).

Lebon (Eugène), ✱ C. ✠, rue Drouot, 11.

Le Brun (Louis-Gabriel), constructeur mécanicien, rue de Belzunce, 6.

Le Brun (Raymond-Louis) ✠, ingénieur au chemin de fer du Sud-Est, quai de la Guillotière, 11, à Lyon (Rhône).

Lecellier (Charles-Victor), rue de Trévise, 44.

Lecherf, ingénieur au chemin de fer, à Etterbeek (Belgique).

Léclanché (Georges), fabricant d'appareils télégraphiques, rue de Laval, 9.

Le Clerc (Achille) ✱, directeur de la Société des polders de Boind (Vendée), rue Bonaparte, 47.

Leclerc (Émile) ✱, rue Lemercier, 32 aux Batignolles.

Lecœuvre (Paul) ✱ ✱ ✱, boulevard Voltaire, 62.

Lecocq (Jean-Félix-Édouard), chef du bureau du service technique des chemins de fer du Midi, faubourg Saint-Martin, 66.

Lecorbeiller (Georges-G.), rue de Stockholm, 4.

Le Cordier (Léon), directeur du chemin de fer de Rouen à Bonsecours, rue Pergolèse, 48.

Lecouteux (Nicolas-Hippolyte), rue Oberkampf, 74.

Ledeuil (Stéphane), constructeur, rue Mechain, 13.

Lefrançois (Jean-Louis), service de la comptabilité du chemin de l'Ouest, rue Gay-Lussac, 21.

Lefrançois (Eugène), rue Pauquet, 9.

Legat (Mathurin-Désiré), rue de Châlons, 38.

Legat (Camille-Constant-Régis), à Saint-Étienne (Loire).

Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).

Léger (Jean-Pierre-Alfred), rue de Bourbon, 28, à Lyon (Rhône).

Legrand (Charles), ingénieur en chef de la Société des chemins de fer de l'État belge, rue de Locht, 103, à Bruxelles (Belgique).

Legris (Édouard), constructeur de machines, à Maromme (Seine-Inférieure).

Lejeune (Charles-Émile) ✱, rue Treilhard, 9.

Le Laurin (Jules), rue d'Assas, 11.

Lelorrain (Karl), directeur de la fabrique de caoutchouc de MM. Guibal et Cie, rue Nationale, 35, à Ivry-sur-Seine.

Leloup (Joseph-Benoît), fabricant de sucre, à Arras (Pas-de-Calais).

Leloutre (Georges), avenue des Gobelins, 35.

Lemaréchal (Dieudonné-Jules), lamineur de métaux, rue Chapon, 3.

Lemasson (Cyrille), O. ✱, chef de service de l'entretien du matériel et des magasins de la Cie du canal de Suez, à Ismaïlia (Égypte).

Digitized by Google

MM. Lemoinne (Lucien) ✱, directeur de l'Asile national de Vincennes, à Saint-Maurice (Seine).
Lemoine (Émile-Michel), rue du Cherche-Midi, 55.
Lemonnier (Paul), aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonnier (Paul-Hippolyte), avenue de Suffren, 26.
Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lencauchez, rue du Faubourg-Saint-Martin, 212.
Leneveu (Ernest), chaussée Madeleine, 41, à Nantes (Loire-Inf.)
Lenicque (Henri), ingénieur directeur de la fabrique de matières colorantes, rue du Pont, 11, à Suresnes (Seine).
Le Page (Adrien-Frédéric), chef de l'exploitation du chemin de fer de Bône à Guelma, à Bône (Algérie).
Lepeudry (Paul-Noël), rue Montholon, 28.
Leprince (Alexandre), ingénieur hydraulicien, rue Duhamel, 6, à Lyon (Rhône).
Lequeux (Paul-Victor-Pierre-Louis), rue d'Assas, 24.
Leroide (Georges-Louis), quai de Gèvres. 6.
Le Roy (Amable) ✱, faubourg Saint-Martin, 161.
Le Roy Desclosages (Raoul-Ch.), à Champigny-sur-Marne (Seine).
Lesauvage (Jean-Baptiste), ingénieur de l'arsenal de Fou-Tchéou, en Chine.
Lescasse (Jules), architecte, ingénieur à Yokohama (Japon).
Leseur (Léon-Henri), à Longeray, par Collonge (Ain).
Lespermont (Louis-Joseph-Amédée), boulevard de Sébastopol, 9.
Letellier (Antoine-Émile), rue Saint-Vincent-de-Paul, 7.
Letestu, fabricant de pompes, rue du Temple, 118.
Létrange (Léon), fondeur, lamineur et maître de forges, rue des Vieilles-Haudriettes, 1.
Leullier (Louis-Bernard-Honoré) architecte de la ville d'Amiens (Somme).
Levassor (Émile-Constant), ingénieur chez MM. Périn et Compagnie, avenue d'Ivry, 19.
Levat (Gustave) ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Level (Émile), boulevard Pereire, 100.
Lévêque (Alfred-Emmanuel-Louis), ingénieur des travaux maritimes au Chili.
Lévi-Alvarès (Albert) O. ✱ C. ✱, rue Miroménil, 94.
Leygue (Léon), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 8.
Lhomme (Paul-Émile), aux hauts fourneaux de Saint-Nicolas de Redon (Ille-et-Vilaine).
Liébaut (Arthur), route d'Aubervilliers, 50, à Pantin.
Limet (Hippolyte), fabricant de limes, à Cosne (Nièvre).
Lippmann (Édouard), entrepreneur de sondages, rue de Chabrol, 51.
Litschfousse (Léon) C. ✱, Hiléras, 17, à Madrid (Espagne).
L'Lamas (Emmanuel-Joseph-Eugène), rue Monsieur-le-Prince, 2.

Digitized by Google

MM. LOCKERT (Louis-Victor) O. ✱, rue de Boulainvillers, 41.
LOISEAU (Adolphe), rue Rivay, 34, à Levallois (Seine).
LOISEAU (Désiré), raffineur, rue de Flandre, 145.
LONGPÉRIER (Charles), rue Sabot, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).
LONGRAIRE (Léopold-François) ✱ ✱, à Tulle (Corrèze).
LOPEZ-BUSTAMENTE (Francisco), G. ✱, ingénieur en chef de la voie du chemin de fer d'Alard à Santander, rue de Burgos, 1, à Santander (Espagne).
LOREAU (Alfred-Isidore), constructeur, à Briare (Loiret).
LORIOL (de) (Louis), ingénieur de l'usine à gaz de Lyon, rue Centrale, 46, à Lyon (Rhône).
LOTZ-BRISSONNEAU (Alphonse-François), constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).
LOUSTAU (Gustave), ✱ ✱ ✠ ✱, agent administratif du matériel du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
LOVE (Georges-Henri) ✱, route de Montesson, 48, au Vésinet (Seine-et-Oise).

M

MM. MACABIES (Paul-Maurice-Joseph), rue de la Chapelle, 20.
MACHEREZ (Alfred), rue de Grenelle-Saint-Germain, 172.
MADELAINE (Édouard), à Saintes (Charente-Inférieure).
MAEGHERMAN (Anatole-Victor), à la gare de Lisbonne (Portugal).
MAILLARD (Jules), chef de service de la Compagnie d'Orléans à Rouen, à Beauvais (Oise).
MAIRE (Armand), rue de la Bienfaisance, 10.
MALDANT (Eugène-Charles), installation de travaux pour gaz et eaux, rue d'Armaillé, 27, aux Ternes.
MALLET (Anatole), rue de Larochefoucauld, 30.
MALLET (Paul-Alfred), boulevard de la Villette, 54.
MALLIÉ (Jules), avenue des Amandiers, 7.
MALO (Léon) ✱, directeur des mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
MANBY (Charles), ✱ C. ✱ ✱ ✱, 24, Great-George street, Westminster S. W. Londres (Angleterre).
MANÈS (Julien) directeur de l'École supérieure de Commerce de Bordeaux, rue Judaïque, 2, à Bordeaux (Gironde).
MANGINI (Félix), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).
MANGINI (Lucien), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).
MANOURY (Armand-Joseph), directeur de la sucrerie de Lizy-sur-Ourcq (Seine-et-Marne).
MANTEGAZZA (Saül), piazza Durini, 7, à Milan (Italie).
MARCHAL (Victor), boulevard Montparnasse, 61.

Digitized by Google

MM. Marché (Eugène-Ernest), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 4.
Marco Martinez (Agapito), C. ✠ ❋ ⁂, ingénieur de division du chemin de fer du Nord de l'Espagne, Libertad, 29, à Valladolid (Espagne).
Mardelet (Charles), faubourg Saint-Denis, 160.
Maréchal (Alfred), rue de Turin, 14.
Marès (Pierre-Louis-Henri) ⁂, agriculteur, à Montpellier (Hérault).
Marin (Paul), filateur à Bühl, près Guebwiller (Alsace).
Marindaz (Jules-Charles), rue Moncey, 2.
Mariotte (Charles), rue Saint-Louis-en-l'Ile, 51.
Marland (Joseph), métallurgiste, à Aubenas (Ardèche).
Marle (Paul), à Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).
Marsau (Anatole-Victor), rue de La Bruyère, 24.
Marsillon (Jean) ⁂, ingénieur principal, à Vesoul (Haute-S.).
Marsillon (Léon), boulevard Haussmann, 80.
Martenot ⁂, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (Charles), directeur d'une fabrique de produits pharmaceutiques, avenue Victoria, 24.
Martin (Louis) ⁂, ingénieur en chef du chemin de fer de Vincennes, boulevard Beaumarchais, 54.
Martin (Charles-William), avenue de la Reine-Hortense, 13.
Masselin (Armand), rue de Vaugirard, 372.
Massicard (Émile-Alexandre-Joseph), rue Guy-de-la-Brosse, 6.
Masson (Georges), impasse Béranger, 11, à Vaugirard.
Masure (Gustave), directeur de la Société de construction de chemins de fer, rue du Progrès, 71, à Bruxelles (Belgique).
Mathias (Félix), ⁂ O. ❋ ⁂ ✠ ⁂, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand) ⁂ ⁂, à Lille (Nord).
Mathieu (Henry) ⁂, rue Casimir-Périer, 27.
Mathieu (Ferdinand) O. ⁂, rue de Provence, 56.
Mathieu (Maurice), inspecteur du matériel et de la construction des chemins de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
Matthiessen (James-Adolphe), rue de Vienne, 5.
Mauget (Jean-Aristide) ⁂, à Vimont (Calvados).
Mauguin (Pierre-Étienne), rue Taitbout, 80.
Maure (Edmond), avenue Percier, 10.
Maury (Noël), boulevard des Batignolles, 41.
Maury (Arthur-Nicolas), hôtel de la Poste, à Airolo, canton du Tessin (Suisse).
Maxwell Lyte (Farnham), 6, cité de Retiro, faubourg Saint-Honoré.
Mayer (Ernest) ⁂, rue Moncey, 9.
Mazurkiewiez (Ladislas-Casimir), 7, Perspective, W. Ladimirski, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Meiner (Charles-Louis), maître de forges, à l'Isle-sur-le-Doubs (Doubs).

Digitized by Google

MM. Mehrmann (Auguste-Albert), chef des ateliers de la Compagnie de l'Est, rue Pajol, 22.

Mékarski (Louis), avenue de Clichy, 96.

Mélin (Jules-Léon), rue Louvois, 6.

Méliton (Martin), ingénieur en chef de la construction du chemin de fer du Nord-Ouest, calle del Avenal, 20, à Madrid (Espagne).

Ménager (Eug.-Benj.-Antoine), rue de Paradis-Poissonnière, 17 *bis*.

Mensier (Alphonse-Eugène), à la gare de l'Est, rue de Strasbourg.

Méraux (Gustave-Louis), rue de Chabrol, 36.

Mercier (Auguste), chimiste de la Compagnie du chemin de fer de Lyon, à la gare de Paris, boulevard Mazas.

Mercier (Théophile-Auguste), chef de section de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, calle de Luna, 29, à Madrid (Espagne).

Mercier (Louis-Gustave), n° 9, Volksgartenstrasse, à Vienne (Autriche).

Mesdach (Louis-Charles-Marie), ✻ C. ✠ ✻ ✻, rue Saint-Paul, 28.

Mesmer ✻, à Graffenstaden (Alsace).

Mesnard (Auguste), ingénieur des ateliers de la maison Cail, rue de l'Université, 183.

Meyer (Adolphe), rue Gaillon, 23.

Meyer (Henri), rue de la Verrerie, 58.

Mianne (Gabriel-Antoine), chef de section au chemin de Bourg à Châlon, à Saint-Germain-du-Plain (Saône-et-Loire).

Michaud (Edmond), fabricant de savons, rue de Pantin, 49, à Aubervilliers (Seine).

Michaud (Jules), rue de Rennes, 105 *bis*.

Michel (Alphonse), à Troyes (Aube).

Michelant ✻, chef de traction au chemin de fer d'Orléans, boulevard Beaumarchais, 68.

Michelet (Émile), fabricant de plâtre, quai Valmy, 161.

Mignon ✻, constructeur, rue Oberkampf, 151.

Mirecki (Antoine-Slavomir), boulevard Magenta, 150.

Mitchell (William) ✻ ✻, boulevard Beaumarchais, 34.

Moerath (Jean-Népomucène) ✻, ingénieur en chef de l'Associato dell' Impressa générale di Costruzioni Traghetto via Chiavari, 8, à Rome (Italie).

Mohr (Frédéric-Christian-Michael), avenue Trudaine, 27.

Moisant (Armand), constructeur, boulevard de Vaugirard, 20.

Molin (de) (Georges-Henri), avenue de Belle-Roche, 1, à Lausanne (Suisse).

Molinos (Léon-Isidore) ✻, rue de Châteaudun, 2.

Moll (Henri), route de Toulouse, 144, à Borde (aux Gironde).

Mollard, rue de l'Écluse, 17.

Mollet-Fontaine (Joseph-Charles-Firmin), constructeur, à la Madeleine-les-Lille (Nord).

Digitized by Google

MM. Monard (Charles), rue Pardonnet, 12.
Monbro (Georges), représentant d'usines anglaises, rue Louis-le-Grand, 11, inspecteur du matériel au chemin de fer du Nord.
Moncharmont (Paul), rue de Dunkerque, 18.
Monnray (Albert), filateur, à Deville-les-Rouen (Seine-Inférieure).
Monin (Charles), associé de la maison Rouffet, constructeur, rue Saint-Ambroise, 33.
Monnier (Démétrius), rue de Londres, 5.
Monnot (Paul-Charles), rue Saint-Placide, 60.
Montel (François), ingénieur aux usines de Fourchambault, rue Augusta, 188, à Lisbonne (Portugal).
Montouan (André), rue d'Auge, 46, à Caen (Calvados).
Mony (Stéphane) O. ✻, à Commentry (Allier).
Morandiere (Jules-Raoul), inspecteur principal du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Morandiere (Edouard-Alexis), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Moreau (Albert), rue de Seine, 6.
Moreau (Émile), rue de la Tour, 16, à Bordeaux (Gironde).
Moreau (Auguste-François-Xavier), chef de section au chemin de fer du Nord, à Abbeville (Somme).
Moreaux (Félix) ✻ ✠ ✻ ✻, rue de Ponthieu, 1.
Morice, ingénieur du service de la voie, à Hazebrouck (Nord).
Morin (le général), G. ✻ ✠ ✻ ✻, directeur du Conservatoire des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Mors (Louis), rue Saint-Martin, 4 *bis*.
Mouchelet (Émile), rue de la Bienfaisance, 4.
Mulat (Pierre-Alexandre) ✻, aux Verreries de Fourmies (Nord).
Muller (Adrien), à Jemmape-lez-Liége (Belgique).
Muller (Émile) ✻, professeur à l'École centrale, rue des Martyrs, 19.

N

MM. Nancy (Alfred), rue du Cheval-Blanc, 13, à Chartres (Eure-et-Loir).
Naranzo de la Gazza (Henri), ingénieur des mines, à Linares, province de Jaen (Espagne).
Néri (Ferreira-Jean) ✻, ingénieur, chez M. Souza, rua do Ouvidor, 69, à Rio-de-Janeiro (Brésil).
Niaudet (Alfred), rue de Seine, 6.
Nicod (Émile), à Audincourt (Doubs).
Nillus (Albert-Emmanuel), rue de Rome, 71.

Digitized by Google

MM. Nizet (Charles), rue de Rennes, 89.
Nobel (Alfred), avenue Malakoff, 53.
Noisette ✱, rue des Poissonniers, 32, à la Chapelle.
Nordling (Wilhelm) ✱ ✠ ✱, directeur général des chemins de fer de l'Autriche, à Vienne (Autriche).
Normand fils (Benjamin) ✠, constructeur, rue des Marettes, 119, à Sotteville-lez-Rouen (Seine-Inférieure).
Noblot (Adolphe-Jean-Louis), filateur à Héricourt (Haute-Saône).
Nougaret (Jean-Joseph), rue Saint-Palais, 119, à Saintes (Charente-Inférieure).
Nousse (Ernest), à Cercanceaux, près Souppes (Seine-et-Marne).
Noyer (Alexandre), rue Picard, 2, à Ivry (Seine).

O

MM. Ogier (Louis), directeur de la fabrique de caoutchouc, à Blanzet (Puy-de-Dôme).
Olive (Joseph-Arnaud), rue Mosnier, 2.
Ollivier (Achille), boulevard Beaumarchais, 51.
Orsat (Louis-Hingest) ✱, rue de la Victoire, 29.
Orsatti (Camille) O. ✠ ✱, rue Neuve-des-Petits-Champs, 38.
Ory (Paul-Étienne), rue du Pont-aux-Choux, 17.
Osmond (Floris), hôtel de l'Europe, à Denain (Nord).
Oudot (Charles), rue des Saints-Pères, 5.
Oughterson (George-Blake), fondeur, à Rouen (Seine-Inférieure).
Ozanne (Alexandre), architecte du département des Landes, à Mont-de-Marsan (Landes).

P

MM. Paget (Frédéric-Arthur), 1, Seymour Chambies, York-Buildings, Adelphi, W. C. (Londres).
Pajot (François-Théophile), rue Saint-Lazare, 101.
Palotte (Émile) fils, rue Saint-Georges, 4.
Parent (Félix-Victor-Philippe), directeur des mines de Castille Barruelo, Palencia (Espagne).
Pareto-Vilfredo, directeur des forges de San-Giovani, Toscane (Italie).

Digitized by Google

MM. Parlier (Jean-Louis-Édouard), rue des Marronniers, 20, à Passy.
Pascal (Roch-Georges), rue de l'Abbaye, à l'île Saint-Denis (Seine).
Pascal (de) (Louis-Henri-Marie), à Haumont (Nord).
Pasquet-Chamier (Georges-Antoine), au chemin de fer d'Anvin vers Calais, 34, rue des Clouteries, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Pastor (Gustave), à Renory-Angleur-lez-Liége (Belgique).
Pasquier (Ferdinand-Philippe-Adolphe), 69, rue de Livourne, à Bruxelles (Belgique).
Paul-Dubos (Antoine), rue de Clichy, 67.
Paul (Ernest), ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).
Paur (Henri), à Zurich (Suisse).
Payard (Charles-Émile), chimiste, à Baccarat (Meurthe).
Peiger (de) (Raymond-Ferdinand), avenue Friedland, 63.
Pélegrin (Henri-Auguste), ingénieur de la Yokohamas gas company, à Yokohama (Japon).
Pélegry (Maurice-François-Henri), maître des forges et laminoirs du Bazacle, à Toulouse (Haute-Garonne).
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Peny (Edmond-Philippe), à Mariemont (Belgique).
Pereire. (Eugène) O. ✱ ⁂, boulevard Maleshesbes, 84.
Pereire (Émile) fils, rue Murillo, 8.
Pereire (Henri), rue de la Ville-l'Évêque, 42.
Pérignon (Eugène) O. ✱, faubourg Saint-Honoré, 105.
Périssé (Jean-Sylvain), rue Boursault, 59.
Pernolet (Arthur), rue de Luxembourg, 42.
Perrault (Auguste-Étienne) ⁂, à Sées (Orne).
Pesaro (Jules), 29, rue Torino, à Milan (Italie).
Petau (Gustave-Gédéon), constructeur, rue du Ranelagh, 8, à Passy.
Petin O. ⁂, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (François-Pierre-G.), manufacturier à Louviers (Eure).
Petit (Émile-Charles), fabricant de papiers, rue des Minimes à Roanne (Loire).
Petit (Germain-Félix-Amédée), rue Saint-Lazare, 70.
Petit (Lucien), rue Jeanne-d'Arc, 67, à Rouen (Seine-Inférieure).
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, boulevard de Latour-Maubourg, 15.
Pettit (Marie-Gabriel-Édouard), chef de section au chemin de fer de Grande-Ceinture, boulevard des Batignolles, 10.
Picard (Firmin), ⁂ C. ✱ ⁂, entrepreneur de travaux publics, place Vendôme, 12.
Pichault (Stéphane), chef de section du matériel des chemins de fer de la Société de John Cockerill, rue Nicolaï, 80, à Seraing (Belgique).

Digitized by Google

MM. Pierre (Antoine), à Remiremont (Vosges).
Pierron ✻, rue des Batignolles, 43, aux Batignolles.
Piet (Jules), appareils de chauffage et de ventilation, rue de Chabrol, 33.
Pihet (Auguste) fils, constructeur de machines, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody (Arnault), directeur du chemin de fer de Lausanne-Ouchy et des eaux de Bret, à Lausanne (Suisse).
Pinat (Anatole), ingénieur des hauts fourneaux et forges d'Allevard (Isère).
Piquet (Aimé-Auguste), rue de la Tour, 22, à Passy.
Piquet (Alfonse) C. ✻ C. ✠ ✠, 5, plaza de Isabel, à Madrid (Espag.).
Pischof (de) (Alfred), rue Cler, 29, hôtel Lévêque.
Place (de) (Henri), ingénieur en chef de l'exploitation des houillères de Saint-Éloi, par Montaigut-les-Combrailles (Puy-de-Dôme).
Plainemaison (Édouard), ingénieur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Mendizabal, 6, à Valladolid (Espagne).
Plazanet (Joseph-Antoine) ✻, fabricant de produits chimiques, rue des Gravilliers, 23.
Ploq (Ernest), inspecteur au chemin de fer du Nord, à Tergnier (Aisne).
Poillon (Louis-Marie), constructeur de machines, boulevard de Magenta, 1.
Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).
Pollet (Henri), à Alcanices, province de Zamora (Espagne).
Polonceau (Ernest-Gustave) O. ✠, sous-directeur de l'exploitation du chemin de fer de l'État, Schwartzemberg plates, 17, à Vienne (Autriche).
Pompon (Henri), chef de service de l'entreprise générale de la construction de la ligne de Tours à Loches (Indre-et-Loire).
Poncelet (Antoine), ✻ G. O. ✠ C. ✻ O. ✠, rue Monsigny, 2.
Poncin (Frédéric), pavillon de Groison, à Saint-Symphorien-sur-Loire.
Ponsard (Auguste-Jean-Jules-Alexandre), O. ✠, rue de Constantinople, 2.
Ponselle (Georges-Nicolas-Eugène), rue de Provence, 62.
Pontzen (Ernest), rue Caumartin, 29.
Porte (Napoléon-Cyprien), directeur de l'usine à gaz de Grenoble (Isère).
Possoz (Antoine), chimiste, rue du Dôme, 9.
Pot (Charles), rue Rougier, 2, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Francis), administrateur de plusieurs sociétés de Mines, rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), ✻ passage des Eaux, 4, à Passy.

Digitized by Google

MM. Pouell, ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).

Poupard, ingénieur à la compagnie de Fives-Lille, rue Pauquet, 21.

Pourcel (Alexandre), ingénieur des usines de Terre-Noire (Loire).

Powell (Thomas), constructeur-mécanicien, à Rouen (Seine-Inf.).

Prilipp (Philippe-Louis), rue de Cléry, 84.

Prisse (Édouard-Louis) ✱, directeur du chemin de fer d'Anvers à Gand, à Saint-Nicolas (Belgique).

Privé (Georges), rue du Luxembourg, 14.

Prochaska (Jules), à Praz (Autriche).

Pronnier (Charles) ✱ ✱, quai Voltaire, 23.

Prouteaux (René-Albert), ingénieur des forges de Semouse et directeur de la manufacture de Plombières (Vosges).

Prudon (Jean-Marie), directeur des ateliers de construction H. Joret et Cie, à Montataire (Oise).

Proveux (Alphonse-Louis), chef de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).

Prus (Georges), ingénieur de la Vieille-Montagne, au consulat de France, à Santander (Espagne).

Puig y Llagostera, San-Francisco, 25, à Barcelone (Espagne).

Pury (de) (Gustave) ✱, rue du Château, 16, à Neuchâtel (Suisse).

Puylaroque (de) (Raymond), rue de l'Université, 159.

Q

MM. Quéruel (Auguste), boulevard Voltaire, 128.

Quesnel (Ferdinand), rue de Grammont, 28, à Rouen, Seine-Inférieure).

Quesnot (Louis-Auguste-Émile), boulevard Mazas, 20.

R

MM. Rabeuf (Ferdinand), rue de Maubeuge, 102.

Rancès (Frédéric) ✱, ingénieur en chef adjoint au directeur de l'exploitation des chemins de fer du Midi, rue d'Aviau, 27, à Bordeaux (Gironde).

Raspail (Émile-Jules), chimiste, rue du Temple, 14.

Redon (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

Digitized by Google

MM. Régel (de) (Philippe-Constant) ✻, à Lutzelhausen (Alsace).
Regnard (Louis-Paul-Antoine), rue Béranger, 6.
Regnault (Jules) ✻, ingénieur divisionnaire de l'exploitation au chemin de fer de l'Ouest, rue de Stockholm, 4.
Remaury (Henry), directeur des forges de Pompey, par Frouard (Meurthe-et-Moselle).
Renard (François-Nicolas), rue du Bac, 122.
Renard (Lucien) ✻, directeur de la Compagnie chaufournière de l'Ouest, rue Saint-Lazare, 94.
Retz (de) (Marie-Charles-Jean), chef du service des hauts fourneaux et fonderie de Saint-Louis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Revin (Jules-Henri-Victor), route de Péronne à Roye (Somme).
Revy (Jules-Jean-Hope), villa Camphille Road Crogdan, à Londres (Angleterre).
Rey (Louis-Pierre-Félix) ✻, ingénieur chez M. Chevalier constructeur de wagons, rue d'Auteuil, 52.
Reydellet (de) (Hyacinthe-Joseph-Henry) ✻ ✻, rue de Lisbonne, 17.
Reymond (Francisque), entrepreneur, place de la Mairie, à Montbrison (Loire).
Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).
Reynaud (Georges), associé de la maison Oudin Dubois, à Betheneville, par Pont-Faverger (Marne).
Ribail (Xavier) ✻, ingénieur de la traction au chemin de fer de l'Ouest, rue du Chemin-de-Fer, 35.
Ribourt (Léon-Eugène-Isidore), à Altorf-Uri (Suisse).
Riceschi (Sigismond), hôtel de l'Europe, à Rome (Italie).
Richard (Jean-Louis) ✻, ingénieur en chef de la Compagnie du chemin de fer des Charentes, rue Billault, 31.
Riche (Antoine-Joseph), directeur des forges et laminoirs de l'Alliance, à Charleroi (Belgique).
Richemond (Émile-Louis), rue Malesherbes, 38.
Ridder (de) (Pierre-Octave), avenue du Coq, 3.
Rigollot (Ernest), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.
Robin (Albert), château de Tullins (Isère).
Rocaché (Louis-Jules), rue de la Roquette, passage Sainte-Marie, 12.
Rockliff (James), 98, Cameing street, Liverpool (Angleterre).
Rognetta (François-Benoît), O. ✻ ✠ ✻, 62, via Borgo-Nuovo, à Turin (Italie).
Rogé (Xavier) maître de forges, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
Rohart (François-Ferdinand), chimiste, rue Legendre, 55.
Rolin (Eugène), constructeur, à Braine-le-Comte (Belgique).
Rolin (François-Étienne), à Boissise-la-Bertrand, par Melun (Seine-et-Marne), et rue Geoffroy-Marie, 6.
Romme (Alfred) ✻, à Saint-Quentin (Aisne).

Digitized by Google

MM. Ronna (Antoine) O. ✻ ✻, secrétaire du Comité de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, boulevard Haussmann, 25.

Ronssin-Morel (Théodore-Victor), rue Saint-Antoine, 110.

Roques (Adrien-Jacques), place du Cerf-Volant, 13, à Bordeaux (Gironde).

Rosiés (Aristide), rue Clapier, 6, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Rouart, constructeur, rue Oberkampf, 149.

Rouget (Paul-Frédéric), directeur de l'usine à gaz de Brest, rue des Martyrs, 19.

Rouit (Henry), ingénieur de la Compagnie du Médoc, rue de la Course, 7, à Bordeaux (Gironde).

Rousseau (Louis), chaussée d'Anvers, 76, à Bruxelles (Belgique).

Roussel (Henri-Léon-Joseph), sous-directeur de la Société industrielle et de commerce, à Odessa (Russie).

Roy (Edmond) ✻, rue de Luxembourg, 3.

Roze (Eugène), fabricant de toiles cirées, rue du Château-d'Eau, 60.

Rozycki (Stanislas), au Creuzot, rue Montchanin, 11 (Saône-et-L.).

Rubin (Arthur), rue de Douai, 3.

Rudler (Henri-Alexandre), avenue du Château, 12, à Bellevue (Seine-et-Oise).

Rueff (Léon), rue de Châteaudun, 10.

Ruolz (de), O. ✻ G. O. ✻ C. ✻, inspecteur général des chemins de fer, rue de Condé, 9.

Rycerski (Félix-Lucien-Antoine), 29, Schiller strasse, à Bochum (Westphalie).

S

MM. Sage (Paul-Romain), rue du Chevaleret, 39 et 41.

Saint-James (Charles), inspecteur de la voie au chemin de fer du Nord, à Tergnier (Aisne).

Saladin (Émile), rue de Bellevue, 2, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Salesse (Paul-Alphonse), ingénieur en chef de la traction à Périgueux (Dordogne).

Salin (Auguste-Jean), maître de forges, à Dammarie-sur-Sault (Meuse).

Salleron (Ernest), architecte, à Sens (Yonne).

Salomon (Louis-Antoine-Marie), rue de Laval, 22.

Salomon (Léon-Georges), rue de Rivoli, 33.

Salvetat (Alphonse) ✻ ✠ ✻, chef des travaux chimiques, à la Manufacture nationale de Sèvres (Seine-et-Oise).

Sandberg (Christer-Geter), 19, Great George street, Westminster, S. W., à Londres (Angleterre).

Digitized by Google

MM. Sautter (Louis) ✱, constructeur de phares lenticulaires, avenue de Suffren, 26.

Sauvan-Deleuze (Louis), boulevard Beauséjour, 37, à Passy.

Savalle (Désiré), constructeur, avenue du bois de Boulogne, 64.

Savy (Léopold), ingénieur, avenue de Villiers, 101.

Scellier (Henri), fondeur, à Voujaucourt, près Montbéliard (Doubs).

Schabaver (François), constructeur de machines, à Castres (Tarn).

Schaeck (Augustin-Clément), quai de Jemmapes, 84.

Scheidecker (Léon), à Lutzelhausen (Alsace).

Schirmer (Eugène-Charles), à la manufacture de glaces de Mannheim (Grand-Duché de Bade)

Schivre (Jean-Pierre), directeur des ateliers du Grand-Hornu, près Mons (Belgique).

Schivre (Gustave-Georges-Henri), ingénieur aux ateliers du Grand-Hornu (Belgique).

Schlincker (Michel-A.), maître de forges, à Creutzwald (Lorraine).

Schmerber (Jean), à Tagolsheim, par Altkirch (Alsace).

Schmid (Albert), à Zurich (Suisse).

Schmidt (Maximilien-Frédéric), constructeur, Gisela strass, 6, à Vienne (Autriche).

Schmoll (Adolphe) ✱, entrepreneur de travaux publics, II Bezirk Kaiser Joseph-Strasse, 1, à Vienne (Autriche).

Schwendner (Alexandre), rue Sainte-Catherine, 68, à Odessa (Russie).

Sebillot (Amédée), directeur de l'usine métallurgique de Nikel, route de la Révolte, 4, à Saint-Denis.

Seebold (Lothaire-François), C. ✱ O. ✱ ✠ ✠, Bidebarieta, 12, 2° peso, à Bilbao (Espagne).

Seiler (Albert-Louis), boulevard de Magenta, 26.

Selle (de) (Albert-Marie), Château de Fontienne, par Forcalquier (Basses-Alpes).

Sepres (de) (Henri-Robert-Yves), 9, calle de Campomanes Tercero derecha, à Madrid (Espagne).

Sepulchre (Armand-Joseph), ingénieur, directeur des hauts fourneaux d'Aulnoye, à Aulnoye-les-Berlaimont (Nord).

Ser (Louis) ✱, rue Soufflot, 25.

Séraphin (Charles-André), constructeur, faubourg Saint-Martin, 172.

Sérafon ✱, boulevard de Clichy, 22.

Serguéeff (Nicolas) ✱, rue Delaborde, 34.

Serment (Frédéric-Louis), rue de la Darse, 9, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Serres (de) Wierpfinski (Auguste), Directeur de la construction de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, Kuntnez Ring, 3, à Vienne (Autriche).

Digitized by Google

MM. Serverac (Jacques-Paul), constructeur de matériel roulant pour chemins de fer, boulevard Macdonald, 1.
Servier (Édouard), directeur de la Compagnie du gaz de Metz, rue Baudin, 21.
Seyrig (Théophile), associé de la maison Eiffel et Cie, place Wagram, 2.
Sherman (John-Edwin), avenue Joséphine, 63.
Siébeh, rue Trézel, 1, aux Batignolles.
Siemens (William), métallurgiste, rue de Châteaudun, 11.
Simon (Édouard), directeur de filature, rue Meslay, 32.
Simon (Henri), 7, Saint-Peters square, à Manchester (Angleterre).
Simon (Gustave), au Creusot (Saône-et-Loire).
Simons (Paul), au Cateau (Nord).
Somasco (Charles), rue du Chemin-Vert, 42.
Somzée (Léon-Henri-Mathieu) O. ✠ ✱, rue Royale, 217, à Bruxelles (Belgique).
Sonolet (Gustave-Auguste), rue Judaïque, 65, à Bordeaux (Gironde).
Soulié (Léon-Émile), avenue de Villiers, 96.
Soulié (Émile-Léon), boulevard Malesherbes, 60.
Soupey (Henry), rue de l'Université, 16.
Sparre (le comte) (Pierre-Ambjor), O ✱ ✱, ingénieur-mécanicien, rue Abbatucci, 7.
Spée (Alphonse-Marie-Joseph) ✱, boulevard Haussmann, 35.
Stapfer (Daniel), constructeur-mécanicien, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Steens (Émile), chaussée Vleurgat, 89, à Bruxelles (Belgique).
Stilmant (Philippe-Louis-Aimé), constructeur de freins, rue de Rome, 129.
Stoclet (Victor), chaussée Charleroi-Saint-Gilles, 5, à Bruxelles (Belgique).
Suc (Étienne-Arsène), boulevard de la Villette, 50.
Sulzberger-Ziegler (Henry), constructions en bois, à Winterthur (Suisse).

T

MM. Tabary (Édouard), à Niort (Deux-Sèvres).
Taillades (des) (Henri), avenue des Ternes, 44.
Taillandier (François), chef de section au chemin de fer de Ciudad-Real à Badajoz, à Puertollano (Espagne).
Taillard (Ernest) ✱ ✱ ✱, rue Laffitte, 27.
Tarantini (Serafino), 13, via Carrozzieri, à Montéoliveto, à Naples (Italie).

Digitized by Google

MM. Tardieu (Henri-Ernest), rue Neuve, 17, à Compiègne (Oise).
Tay (Joseph), calle de Puerta Ferrisa, 25, à Barcelone (Espagne).
Terrier (Paul-Jacques-Victor), secrétaire général de la Compagnie des travaux publics, rue de Provence, 56.
Tesse (Paul), rue de Maubeuge, 18.
Tessie du Motay (Cyprien-Marie), boulevard de Courcelles, 118.
Tétard (François), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.
Thauvin (Pierre-Jules), à Pise-Fontaine près Triel (Seine-et-Oise).
Theurkauff (Achille-Henri), boulevard du Palais, 11.
Thibaudet (James-Nicolas), à l'usine à gaz, à Arenc, banlieue de Marseille (Bouches-du-Rhône).
Thibault (Louis-Marie), fabricant de papiers, à Troyes (Aube).
Thirion (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.
Thirion (Antoine-Romain), constructeur-mécanicien, rue de Vaugirard 147.
Thomas (Jules-Émilien), boulevard Central, 17, à Bruxelles (Belgique).
Thomas (Pierre), rue Prado, 111, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Thomas (Frédéric) ✻ ✠ ✻, à la gare de Toulouse (Haute-Garonne).
Thomas (Léon), fabricant de produits chimiques, quai de Javel, 83.
Thomas (Max), à Souys, près de Saint-Menoux (Allier)
Thomasset (Henri), 25, boulevard Montparnasse.
Thouin (Charles) ✻ ✠ ✻, ingénieur du mouvement au chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
Thoyot (Joseph) ✻, rue de Turenne, 114.
Thurston (Robert), Hoboken, 9, New-York (États-Unis d'Amérique).
Tiquet (Pierre-Maurice-Gustave), maître de forges, à Vesoul (Haute-Saône).
Tournade de Noaillat (Lucien-H.-Amable) ✻, rue Gozlin, 31.
Tourgon (Joseph-Barthélemy), à Bagnols-sur-Ceze (Gard).
Trélat (Émile), O. ✻, boulevard Montparnasse, 136.
Tresca (Henri), O. ✻ ✻ ✻ ✠, sous-directeur au Conservatoire des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Gustave-Jules), rue Saint-Martin, 292.
Trémeau (Alexandre-Henry-Auguste), aux forges de Bigny (Cher).
Trevellini (Louis), à Florence (Italie).
Tridon (Victor), 8, Humboldt-Strasse, à Dresde (Saxe).
Tronchon (Jean-Anatole), impasse Mairet, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).
Tronquoy (Camille), ingénieur aux chemins de fer du Midi, boulevard Haussmann, 54.
Turck (Michel), rue Bernouilli, 11.

Digitized by Google

U

MM. Ubags (Théophile), faubourg Saint-Honoré, 205.
Uhagon (Pierre-Pascal), ingénieur de la Société minière et métallurgique de Linares, province de Jaen (Espagne).
Ulens (Léon), rue du Trône, 8, à Bruxelles (Belgique).
Urbain (Victor), boulevard Beaumarchais, 30.
Urban (Maurice-Pierre), ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel du chemin de fer du Grand-Central Belge, rue de la Loi, 102, à Bruxelles (Belgique).

V

MM. Vaessen, directeur des ateliers de la Société Saint-Léodard, à Liége (Belgique).
Valensi (Raymond), avenue de l'Alma, 69.
Valentin (Léopold) ✱ ✱, rue Galilée, 6, à Bruxelles (Belgique).
Vallez (Alphonse), rue des Anges, 10, à Valenciennes (Nord).
Vallot (Guillaume-Marie-Henri), place des Perchamps, 2, à Auteuil.
Valton (Ferdinand), directeur de la Société des fers et aciers, rue de Londres, 44.
Vandel (Émile), maître de forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vanderheym (Eugène-Napoléon), directeur des forges d'Urville (Haute-Marne).
Vasset (Louis), boulevard des Batignolles, 37.
Vaugarnie (Victor), au fort Saint-Cyr (Seine-et-Oise).
Vauthier, rue Saint-Lazare, 11.
Vautier (Émile), administrateur de l'usine à gaz, rue Centrale, 46, à Lyon (Rhône).
Vauvillier (Laurent Louis), secrétaire de la direction générale des chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).
Vée (Léonce-Émile), ingénieur expert près les tribunaux, rue de Rome, 61.
Véga (Domingo), boulevard Haussmann, 140.
Vegni (Angelo), C. ✱ ✱ ✱, via San Nicolo, 131, à Florence (Italie).
Vellut (Félix-Léon-Célestin) ✱, directeur des ateliers de la Sambre, à Charleroi (Belgique).

Digitized by Google

MM. VÈNE (Philippe), à Lapoularié, près Castres (Tarn).
VERDIÉ ✱, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
VERDIÉ fils (Jean-Eugène), directeur des hauts fourneaux de Firminy (Loire).
VERGNES (Paul-Eugène), chef de service de la construction de la ligne d'Angoulême à Limoges, avenue du Midi, 17, à Limoges (Haute-Vienne).
VERGNOL (Joseph-Camille-Paul), ingénieur du chemin de fer de Busigny à Nirson, à la Chapelle (Aisne).
VÉRITÉ (Augustin-Lucien), horloger, à Beauvais (Oise).
VERRIER (Charles-Joseph-Auguste), chef des chantiers et ateliers de Bacalan, rue de Lormon, 5, à Bordeaux (Gironde).
VERRINE (Louis-Justin), ingénieur du service municipal de la ville de Caen, rue des Carmélites, 38, à Caen (Calvados).
VESTRAET (Louis), rue des Carrières, 61, à Charenton-le-Pont (Seine).
VIAL (Charles), aux mines de Mercadal, près Torrelavega, province de Santander (Espagne).
VIDARD (Jean-Baptiste), inspecteur du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest, rue de Moscou, 50.
VIEILLARD (Jules-André-Albert), fabricant de faïences et porcelaines, quai de Bacalan, 77, à Bordeaux (Gironde).
VIELLIARD (Léon-Jean), rue Lafayette, 211.
VIGAN (Eugène-Médéric), à l'usine à gaz, cours de Vincennes, 45.
VIGNIER (Pierre-Auguste) ✱, ingénieur de la voie au chemin de fer de l'Ouest, rue La Condamine, 98, à Batignolles.
VIGREUX (Léon), rue de Birague, 16.
VILLARD (Théodore), boulevard Malesherbes, 138.
VILLERMÉ, à Trelon (Nord).
VINCENT (Charles), filateur, à Senones (Vosges).
VINIT (Pierre-Arsène), inspecteur du matériel au chemin de fer de Lyon, rue de Greffulhe, 9.
VIOLET (Adolphe-Charles-Henri) ✱ ✱, directeur des usines de Belvoye, près Dôle (Jura).
VIOLETTE (Louis-Antoine), rue Lafayette, 91,
VIOLLET-LE-DUC père (Eugène-Emmanuel), O. ✱ ✱, architecte, rue Condorcet, 68.
VIRLA (Paul), rue de Châteaudun, 34.
VIRON (Charles-Louis), chef de section au chemin de fer d'Orléans, à la gare de Tours (Indre-et-Loire).
VITALI (Philippe), entrepreneur, rue Mogador, 8.
VIVIEN (Armand), chimiste, rue Sainte-Anne, 54, à Saint-Quentin (Aisne).
VLASTO (Ernest), chez M. Antoine Vlasto, directeur de la banque de Constantinople (Turquie).

Digitized by Google

MM. VOJACEK (Ladislas), à Karlstein (en Bohême).
VORUZ aîné, constructeur ✱, à Nantes (Loire-Inférieure).
VUIGNER (Adrien), rue de Lille, 46.
VUIGNER (Henri-Louis), rue de l'Université, 30.
VUILLEMIN (Émile) ✱, directeur des Mines d'Aniche (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles), ✱ O. ✱ ✠ ✱ ingénieur-conseil du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est, rue de Vigny, 1.

W

MM. WAHL ✱, rue du Quatre-Septembre, 16.
WALKER (William-Thomas), west Hill Highgate, à Londres (Angleterre).
WALLAERT (Auguste), boulevard de la Liberté, 23, à Lille (Nord).
WATSON (Joseph-Jean-Guillaume), C. ✲, 3, Vernon Terrace Brighton (Angleterre).
WATTEVILLE (de) (Charles-Louis), rue de Rennes, 105.
WEIBEL (Jules-Henri), constructeur d'appareils de chauffage, Tranchées-de-Rive, rue de Malagnou, à Genève (Suisse).
WEIL (Frédéric), O. ✱, chimiste expert, rue des Petites-Écuries, 13.
WENDEL (de) (Paul-François-Henri), maître de forges, à Moyeuvre (Alsace-Lorraine).
WEST (Auguste-Émile), chef des travaux au laboratoire d'essais à la Cie des chemins de fer de l'Ouest, rue Bonaparte, 13.
WEYHER (Charles-Louis) ✱, constructeur de machines, route d'Aubervillers, 50, à Pantin (Seine).
WHALEY (Georges), ingénieur des ateliers des chemins de fer de l'Ouest, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
WIARD (Léopold), teinturier, à Cambrai (Nord).
WILDEN (Auguste-Frédéric), boulevard Magenta, 144.
WILLEMS (Joseph), rue du Progrès, 36, à Bruxelles (Belgique).
WISSOCQ (Alfred), ingénieur de l'atelier central du chemin de fer du Nord, faubourg Poissonnière, 96.
WOHLGUEMUTH, ingénieur du draguage du Port, Rembla de Catalina, 36, à Barcelone (Espagne).
WOYCIECHOWSKI (Lucien), directeur de la Société des chemins de Seine-et-Marne, rue de la Ferme-des-Mathurins, 11.

Digitized by Google

MM. Wurgler (André), rue de Rome, 66.
Woestyn (Alphonse-Sevin-Cornill), fabricant de sucre, boulevard Haussmann, 80.

X Y Z

M. Xavier (Jean), rue de Châteaudun, 35.

MM. Yvert (Léon), ingénieur expert, rue de Londres, 4.
Yvon-Villarceau (Antoine), ✱ ✠ ✠, membre de l'Institut, avenue de l'Observatoire, 18.

Ziegler (Jean-Jacques), rue Rembrandt, 32.
Zschokke (Conradin), rue du Tunnel, à Valence (Drôme).

Membres Associés.

MM Agache (Édouard), filateur, à Lille (Nord).
André (Nicolas-Oscar), constructeur de combles métalliques, rue Charles-Laffitte, 49, à Neuilly-sur-Seine.
Barbedienne, C. ✱, bronzes d'art, boulevard Poissonnière, 30.
Belin (Alphonse), à Brie-Comte-Robert (Seine-et-Marne).
Bischoffsheim (Raphaël), banquier, rue de Gramont, 27.
Bizot (Emmanuel-Eugène) ✱, rue de Lyon, 7, à Lyon (Rhône).
Blanchet (Aristide-Paul), à Henrichemont (Cher).
Borrel-Fontany (Amédée-Philippe), horloger-mécanicien, rue Neuve-des-Petits-Champs, 47.
Bougarel (Étienne), garde mine, rue de Dunkerque, 24.
Brichaut (Auguste), O. ✱ ✠ ✠ ✱, rue Saint-Paul, 9.
Chabrier (Fortuné), avenue de la Reine-Hortense, 5.
Chaize (L.-El.), administrateur délégué de la Compagnie des Bateaux-Omnibus, route de Versailles, 125.
Chameroy (Edme-Augustin), faubourg Saint-Martin, 162.
Champonnois (Hugues), presses continues, rue Neuve-des-Petits-Champs, 45.

Digitized by Google

MM. Chateau, associé de la maison Farcot, au port Saint-Ouen (banlieue).

Chavannes, boulevard Haussmann, 134.

Chavassieu (Jean-Baptiste), député, rue de l'Université, 22.

Claudin (Henri), armurier, boulevard des Italiens, 38.

Collin (Armand), horloger, rue Montmartre, 118.

Coutant (L.-Eug.), maître de forges, rue Nationale, à Ivry (Seine).

Coutelier (Edmond-Jules), fabricants d'ornements estampés, boulevard Richard-Lenoir, 74.

Coutin (Jules-Henri), inspecteur du service commercial au chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 19.

Dehaynin (Camille), faubourg Saint-Martin, 12.

Deny (Louis), constructeur, boulevard Richard-Lenoir, 59.

Desouches (Arthur-François-Constantin), constructeur de voitures, avenue des Champs-Élysées, 40.

Dietz-Monnin (Charles-Frédéric), directeur des ateliers de Beaucourt, associé de MM. Japy frères, rue du Château-d'Eau, 7.

Dorémieux (Adolphe), maître de forges, rue Eugène-Delacroix, à Passy.

Doumerc (Auguste-Camille-Jean), rue de Copenhague, 10.

Dufay (Auguste), rue Neuve-Saint-Méri, 12.

Durand (Eugène), rue de l'Arbre-Sec, 19, à Lyon (Rhône).

Du Sartel (Octave-Charles-Waldemar), rue Lafayette, 18.

Fauquet (Octave), à Oissel (Seine-Inférieure).

Ferron (Alexandre), rue des Gravilliers, 11.

Fougart (Charles), rue Baudin, 24.

Galland (Nicolas) O. ✠, à Nancy, château de Sauvey (Meurthe).

Gariel (Ernest), fabricant de ciment de Vassy, boulevard Haussmann, 85.

Garnier (Paul-Casimir), fabricant d'horlogerie, rue Taitbout, 16.

Géneste (Eugène) ✠ C. ✠ ✠, constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.

Gérard (Gustave-Eugène), rue Condorcet, 70.

Gévelot (Jules), député de l'Orne, rue de Clichy, 10.

Giquel (Prosper) ✠, directeur de l'Arsenal, à Fou-Tchéou (Chine).

Giroud (Henri), fabricant de régulateurs, rue des Petits-Hôtels, 27.

Gondolo (Émile), horloger, boulevard du Palais, 5.

Gueldry (Victor-Henri), gérant des établissements de la Compagnie des forges d'Audincourt, rue Amelot, 64.

Hermann-Lachapelle (Jules), constructeur, faubourg Poissonnière, 144,

Huard (Paul), à Tours (Indre-et-Loire).

Huguin (Étienne-Jean), rue de la Tour, 60, à Passy.

Hurtu (Auguste), rue Saint-Maur, 54.

Jamin (Paul), maître de forges, à Eurville (Haute-Marne).

Digitized by Google

MM. Jeantaud (Charles), carrossier, rue du Temple, 135.
Jourdain (Frédéric-Joseph), rue de Penthièvre, 7.
Jullien (Alexandre), rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).
Lavessière (Jules-Joseph) ✱, rue de la Verrerie, 58.
Lebaudy (Jules), raffineur, rue de Flandre, 19.
Le Cyre (Alfred), avenue Trudaine, 11.
Lefebvre Desurmont (Paul-Alfred), fabricant de vernis, rue de Douai, 103, à Lille (Nord).
Lemarchand (Edmond), à La Noulme (Seine-Inférieure).
Lemercier (le comte) (Anatole), O. ✱, président du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer des Charentes rue de l'Université, 18.
Lemoine (Auguste), O. ✱ ✱, fondé de pouvoirs de la maison Cail, rue de la Pompe, 76.
Léon (Alexandre), armateur et maître de forges, cours du Chapeau-Rouge, 11, à Bordeaux (Gironde).
Lesseps (de) (Ferdinand), G. C. ✱ ✠ ✱, président de la Compagnie universelle du canal de Suez, rue Richepance, 9.
Leverbe (Jean-Hilaire-Eugène), rue Pierre-Levée, 10.
Lissignol (Théodore), chef du service industriel de la Société générale, rue Neuve-des-Petits-Champs, 77.
Luchaire (Léon-Henri-Victor), constructeur d'appareils pour phares, rue Érard, 27.
Martellière (de la) (Camille-Alfred), rue Béranger, 21.
Martin (Auguste-Maximilien), fabricant de verreries et d'émaux, avenue de Paris, 275, à Saint-Denis.
Menier (Émile-Justin) ✱, député, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, 37.
Michelet (Hippolyte), ✱ ✱ ✱, chef de bataillon du génie, au camp de la Valbonne (Ain).
Moyse (Maurice), C. ✱ ✱, secrétaire général de la compagnie des chemins de fer espagnols de Sarragosse à Pampelune et Barcelone, rue de Lisbonne, 2.
Muller (Alphonse), fondeur en cuivre; faubourg du Temple, 59.
Neveu (Étienne), rue Saint-Denis, 227.
Nicaise (Charles), fabricant de boulons, à La Louvière (Belgique).
Oeschger (Louis-Gabriel) ✱, m^d^ de métaux, rue Saint-Paul, 28.
Pellegrin (Louis-Antoine-Victor) ✱, rue de Vaugirard, 89.
Pelouze (Eugène-Philippe) ✱, membre du comité de la Compagnie parisienne du gaz, rue de La Borde, 34.
Penaud (Charles-Alphouse), rue Castellane, 14.
Pereire (Isaac), O. ✱ ✱, président du Conseil d'administration de la Société autrichienne impériale et royale, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

Digitized by Google

MM. Piat (Albert-Charles), fondeur mécanicien, rue St-Maur, 49 et 98.
Pimentel (Joaquim-Goldino), rue du Roi, 16, à Anvers (Belgique).
Plichon (Édouard-Louis), fondeur en fer, rue du Chemin-Vert, 96.
Poirrier (Alcide-François) ✱, teinturier, rue D'Hauteville, 19.
Renouard de Bussière (le baron Alfred), directeur de la Monnaie, quai Conti, 11.
Reverchon (Honoré), directeur des forges d'Audincourt (Doubs).
Robert de Beauchamp (Louis-Évariste), C. ✱, rue de Rovigo, 7.
Robin (Théodore), rue François Ier, 1.
Rondeau (Henri), rue de Crosne, 20, à Rouen (Seine-Inférieure).
Simon (Louis-Hyacinthe), ✱, maître de forges, à Ars-sur-Moselle (Lorraine).
Sommier (Alfred), rue de Ponthieu, 57.
Viguerie (Ernest), avenue Joséphine, 81.
Zbyszowski (Ladislas), rue Saint-Dominique, 190.
Zeller (Constant), à Ollwiller, par Soultz (haute Alsace).

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 3.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Londres, 8.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, rue Saint-Lazare, 88.

Secrétaire-Archiviste.

M. Husquin de Rhéville ✱, cité Rougemont, 10.

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER ET FÉVRIER 1877)

N° 29

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Installation des Membres du Bureau et du Comité*, discours de MM Richard et de Dion (séance du 5 janvier, pages 64 et 72).

2° *Commission consultative se rattachant à l'installation des machines en mouvement à l'Exposition universelle de 1878*, (séance du 5 janvier, page 82).

3° *Port de Trieste*, lettre de M. Chabrier (séance du 5 janvier, page 83).

4° *Eaux d'égouts employées en irrigations*, lettre de M. Orsat (séance du 5 janvier, page 83).

5° *Utilisation de la vapeur dans les machines locomotives*, par M. Mallet (séances des 5 et 19 janvier et 16 février, pages 84, 93 et 133).

6° *Notice sur M. Bélanger* (séance du 19 janvier, page 91.)

7° *Ammoniaque libre dans l'acier* (*Présence de l'*), par M. Régnard (séance du 19 janvier, page 91).

Digitized by Google

8° *Fers à cheval* (*Fabrication mécanique des*), par M. Lockert (séance du 19 janvier, page 103).

9° *Discours prononcé par M. le général Morin sur la tombe de M. Alcan* (séance du 2 février, page 106).

10° *Pétrole* (*Moyens installés en France pour assurer le trafic du*) *dans les ports de Commerce*, lettre de M. Bömches (séance du 2 février, page 109).

11° *Expériences agricoles de MM. Lawes et Gilbert* (*Livre de M. Ronna sur les*) (séance du 2 février, page 110).

12° *Électro-sémaphores* par M. Lartigues Henri (séance du 2 février, page 112).

13° *Transmissions par courroies*, par M. Leneveu (séance du 2 février, page 119).

14° *Agricultures* (*Société des*), lettre de M. Chabrier (séance du 16 février, page 123).

15° *Fours à cuve dits cubilots*, par M. Salomon (séance du 16 février, page 124).

16° *Détente des fluides*, par M. Carron (séance du 16 février, page 130).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

1° De M. Bömches, membre de la Société, un Mémoire sur les *Travaux de construction des bassins du port de Trieste.*

2° De M. Orsat, membre de la Société, un exemplaire du travail de la Commission d'enquête sur le *Projet présenté par la ville de Paris pour conduire les eaux d'égout employées en irrigations de la presqu'île de Gennevilliers à la partie nord de la forêt de Saint-Germain.*

3° De M. Weil, membre de la Société, une Note analytique et industrielle faite *sur un pétrole d'Égypte.*

4° De M. Luciano Quaranta, un exemplaire d'un projet intitulé : *Le Ferrovie ad aria compressa.*

5° Du chemin de fer de Bayanne à Biarritz, un exemplaire de la photographie de la *Locomotive Compound* (type 83) (système Mallet).

Digitized by Google

6° De M. Lencauchez, membre de la Société, un exemplaire d'une planche représentant la *Chaudière tubulaire à déjecteur et sécheur.*

7° De M. Bourdon (Charles), membre de la Société, un Mémoire sur *divers Modes d'accouplement de deux arbres parallèles tournant en sens contraire.*

8° De M. Ronna, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *Trente années d'expériences agricoles de MM. Lawes et Gilbert.*

9° De M. Bertrand (Gustave), membre de la Société, un exemplaire du *Rapport de M. le Préfet et délibérations du Conseil général de la Meuse* (août 1876).

10° De l'École des ponts et chaussées, un exemplaire de la quatorzième livraison de la *Collection de dessins distribués aux élèves.*

11° De M. Gavand, membre de la Société, un exemplaire de son projet de *Distribution d'eau de Galata, de Péra, des faubourgs et des villages de la côte d'Europe du Bosphore* et un exemplaire de son ouvrage sur le *Chemin de fer Métropolitain de Constantinople ou chemin de fer souterrain de Galata à Péra, dit tunnel de Constantinople.*

12° De M. Le Brun (Raymond), membre de la Société, un exemplaire d'une note sur les *Conditions de développement de Saint-Louis du Rhône* et sur la *Construction du chemin de fer d'Arles à Saint-Louis.*

13° Un exemplaire d'une note *Enquête sur les chemins de fer.*

14° De M. le Directeur général des Douanes, un exemplaire du *Tableau général des mouvements du Cabotage de la France en* 1875.

15° De M. Ch. Joly, un exemplaire d'une notice sur la question des *Eaux d'égouts en France et en Angleterre.*

16° De M. Thomas (Émilien), membre de la Société, un exemplaire d'une photographie représentant le *Plan d'ensemble et description d'un treuil de* 40 *tonnes roulant sur un pont mobile de* 60 *mètres.*

17° De M. Pernolet, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur l'*Air comprimé et ses Applications*, et un exemplaire de l'*Agendas Dunod* (n° 2), *Mines, Exploitation, Métallurgie.*

18° De M. Jubert, membre de la Société, un exemplaire d'une Note sur *le Rhône à Marseille, l'Étang de Berre et le Port de Bouc.*

19° *Académie royale des Lincei*, les numéros 1 et 2 de leur publication.

Digitized by Google

20° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de septembre et octobre 1876.

21° *Annales industrielles*, les numéros de novembre et décembre 1876.

22° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de septembre et octobre 1876.

23° Des *Annales des mines*, le numéro de la 5e livraison de 1876.

24° Des *Annales du Génie civil*, les numéros de novembre et décembre 1876.

25° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros de septembre et octobre 1876.

26° Des *Annales de la construction* (Nouvelles), les numéros de novembre et décembre 1876.

27° Des *Annales des chemins vicinaux*, les numéros de novembre et décembre 1876.

28° De l'*Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France*, le numéro de son Bulletin.

29° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro de son bulletin.

30° *De l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros de novembre et décembre de son bulletin de l'année 1876.

31° Du *Bulletin officiel de la Marine*, les numéros de janvier et février de l'année 1877.

32° Du *Comité des forges de France*, les numéros 119 et 120 du bulletin.

33° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros de janvier et février 1876.

34° Du *Courrier municipal* (journal), les numéros de novembre et décembre 1876.

35° De l'*Écho des Mines et de la Métallurgie* (journal), les numéros de décembre 1876.

36° De l'*Encyclopédie d'architecture*, les numéros de novembre et décembre 1876.

37° De l'*Économiste* (journal), les numéros de août 1876.

38° De l'*Engineering*, les numéros de janvier et février 1876.

Digitized by Google

39° De la *Gazette des Architectes*, le numéros de novembre et décembre 1876.

40° De la *Gazette du Village*, les numéros de décembre 1876.

41° *Iron* journal *of science, metals et mànufacture*, les numéros de septembre et octobre de l'année 1876.

42° De l'*Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1875 et 1876.

43° De l'*Institution of Mechanical Engineers*, les numéros du troisième trimestre 1876 de son bulletin.

44° De l'*Institution of Mining Engineers americans*, les numéros de leurs *Transactions*.

45° Du *Journal d'Agriculture pratique*, les numéros de janvier et février 1877.

46° Du *Journal des Chemins de fer*, les numéros de janvier et février 1876.

47° Du *Journal de l'Éclairage au gaz*, les numéros de janvier et février 1877.

48° Du journal *of the American Society of Civils Engineers*, les numéros de septembre et octobre 1876.

49° De *la Houille* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

50° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, les numéros de septembre et octobre 1876.

51° Du *Musée Royal de l'industrie de Belgique*, le numéro d'août 1876 de son bulletin.

52° Du *Moniteur des chemins de fer* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

53° Du *Moniteur industriel belge*, les numéros de janvier et février de l'année 1877.

54° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros de novembre et décembre 1876.

55° Du *Moniteur des travaux publics* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

56° De l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (journal), le numéro 7 de 1877.

Digitized by Google

57° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros de janvier et février 1877.

58° De la *Réforme économique*, les numéros de janvier et février 1877.

59° De la *Revue maritime et coloniale*, le numéro de décembre 1876.

60° De la *Revue d'architecture*, les numéros 11 et 12 de l'année 1876.

61° De la *Revista de obras publicas*, les numéros de novembre et décembre 1876.

62° De la *Revue des Deux Mondes*, les numéros de janvier et février 1877.

63° De la *Revue horticole*, les numéros de janvier et février 1877.

64° De la Revue *les Mondes*, les numéros de janvier et février 1877.

65° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros d'octobre et novembre 1876.

66° *De la Société de Physique*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre de l'année 1876.

67° De la *Société des Ingénieurs anglais*, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1875 et 1876.

68° De la *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre 1875.

69° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de septembre et octobre 1876 de son bulletin.

70° De la *Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens*, les numéros du quatrième trimestre de 1876, de leur *Revue périodique*.

71° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, le numéro du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

72° De la *Société d'encouragement*, les numéros de janvier et février 1877 de son bulletin.

73° De la *Société de géographie*, les numéros de janvier et février 1877 de son bulletin.

74° De la *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros du troisième trimestre 1876 de son bulletin.

Digitized by Google

75° De la *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

76° De la *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

77° De la *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le quatrième numéro de son bulletin de 1876.

78° De la *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin de novembre et décembre 1876.

79° De la *Société scientifique industrielle de Marseille*, le numéro du quatrième trimestre de 1876 de son bulletin.

80° De la *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 5 et 6 de 1876 de son bulletin.

81° De la *Société des Arts d'Edimburgh*, le deuxième numéro de 1876 de son bulletin.

82° De la *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XXIV de la quatrième série de son bulletin.

83° De la *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du quatrième trimestre de 1876.

84° De la *Société industrielle de Rouen*, le numéro du quatrième trimestre de l'année 1876 de son bulletin.

85° De la *Société technique de l'Industrie du Gaz en France*, le numéro de son bulletin.

86° De la *Semaine financière* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

87° *Sucrerie indigène* (*La*), par M. Tardieu, les numéros de novembre et décembre 1876.

88° Du *The Engineer* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

89° De l'*Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

90° De madame Poncelet les ouvrages suivants, publiés par ses soins : 1° *Traité des Propriétés projectives des figures* (2 volumes), par J.-V. Poncelet ; 2° *Introduction à la Mécanique industrielle, physique*

Digitized by Google

ou expérimentale, par J.-V. Poncelet, 3e édition, publiée par M. X. Kretz, ingénieur en chef des manufactures de l'État; 3° *Cours de mécanique* appliquée *aux Machines*, par J.-V. Poncelet (2 volumes), publié par M. X. Kretz ingénieur en chef des manufactures de l'État; 4° *Applications d'Analyse et de Géométrie qui ont servi de principal fondement au Traité des Projectives des figures*, par M. J.-V. Poncelet.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de janvier :

MM. Arsac, présenté par MM. Périssé, Pelegry et Ponsard.
Bremond, présenté par MM. Jordan, Servier et Vée.
Chevrier, présenté par MM. Mayer, J. Morandiere et Whaley.
Cochot, présenté par MM. Forquenot, Hovine et Tresca.
Deroualle, présenté par MM. E. Collin, Corpet et Lenique.
Dubois, présenté par MM. André, Chauveau des Roches et Desmousseaux de Givré.
Gavand, présenté par MM. De Dion, Molinos et Sauvan.
Hovine, présenté par MM. Forquenot, Hovine et Lencauchez.
Huet, présenté par MM. Ermel, Dupont et Richard.
Junien, présenté par MM. Richard, Roussel et Schwendner.
Pasquier, présenté par MM. Richard, Spée et Virla.
Peny, présenté par MM. Mallié, Mors et Vellut.
Lara, présenté par MM. Franckel, Richard et Spée.
Wilden, présenté par MM. Périssé, Ponsard et Richard.

Comme Membres associés :

MM. Huard, présenté par MM. Audenet, Pelegry et Richard.
Leverbe, présenté par MM. Brichaud, Loustau et Mesdach.
Rondeau, présenté par MM. De Cœne, Legris et Richard.

Au mois de février :

MM. Daix, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Rozycki.
Émonin, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Gillon, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.

Digitized by Google

MM. Godefin, présenté par MM. Carimantrand, Kremer et Marché.
Hanrez, présenté par MM. Pascal, Périssé et Richard.
Lagarde, présenté par MM. Contamin, Gayrard et Hallopeau.
Leroine, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Ollivier.
Olive, présenté par MM. Demimuid, Love et Muller.
Pastor, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.
Prilipp, présenté par MM. Dumond, Joyant et Richard.
Schirmer, présenté par MM. Fichet, Muller et Rouget.
Violette, présenté par MM. Mauguin, Petit et Smith.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

Ier BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

Séance du 5 Janvier 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. Louis RICHARD, Président sortant, prononce le discours suivant :

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Il y a un an, je vous exprimais le légitime orgueil que je ressentais de l'honneur que vous m'aviez fait en m'appelant au fauteuil de la Présidence des Ingénieurs civils; aujourd'hui, ma tâche est accomplie, et, avant de quitter ce fauteuil où va s'asseoir l'éminent collègue qu'une modestie exagérée en a tenu trop longtemps éloigné, j'aurais besoin de vous remercier des encouragements sympathiques que vous m'avez prodigués pendant ma Présidence, et qui me l'ont rendue si agréable et si facile; mais, avant de penser à vous et à ce que nous avons fait ensemble, avec tout l'abandon de cœurs satisfaits, je dois reporter nos souvenirs à ceux que la mort nous a ravis cette année.

C'est un triste devoir qui incombe à tous les Présidents que celui de réveiller les douleurs et les regrets à peine assoupis; mais ils l'accomplissent avec dévouement et recueillement, dans l'espoir d'apporter quelque consolation aux familles et aux amis des défunts, en faisant revivre à jamais dans nos Annales les noms et les mérites de ceux qu'ils ont perdus.

Nous avons, Messieurs, à déplorer la perte de 17 collègues en 1876. Ce sont :

MM. *Leloup* (Joseph), *Martin* (Léon), *Touron*, *Thomé de Gamond*, *Houel*. *Poulain* (Pierre), *Mulot-Durivage*, *Froment*, *Blanco-Sanchès*, *Rebière*, *de la Harpe*, *Picard* (Maurice), *Nye*, *Voisin*, *Schlumberger* (Henri), *Lepeudry*, *Poulain* (Jules).

J'aurais voulu rendre ici à chacun l'hommage qui lui est dû; mais pour la plupart les renseignements ont manqué malgré nos recherches, et je sai-

Digitized by Google

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA CATANIA

sirai même cette occasion d'inviter tous mes collègues à faire toujours parvenir au secrétariat de notre Société les notes qu'ils pourraient fournir sur les camarades décédés, dès que le décès aura été annoncé en séance; ce sera le seul moyen de remplir le registre funèbre que nous devons conserver dans nos archives.

M. Leloup (Joseph), admis à la Société en 1868, était fils de ses œuvres; il avait consacré sa carrière aux grands travaux publics. En 1832 il débutait sous les ordres de M. Polonceau à la construction du pont des Saints-Pères à Paris; il a été ensuite attaché aux études du chemin de fer de Paris à Versailles et de Paris à Lyon. De 1841 à 1853, il a coopéré à la construction et à l'entretien de la ligne de Paris à Rouen; de 1853 à 1868 il a dirigé, comme ingénieur de l'entreprise Brassey et Compagnie, la construction d'une partie de la ligne de Caen à Cherbourg. J'ai connu M. Leloup aux travaux de cette ligne où j'étais moi-même ingénieur de la Compagnie de l'Ouest, et j'ai pu apprécier l'honorabilité et les mérites de notre regretté collègue. Depuis 1868 jusqu'en 1875, M. Leloup s'est toujours occupé de travaux publics, et il est mort sur la brèche, le 29 décembre 1875, aux travaux de la ligne de la Ferté-Mace à Briouze, écrasé dans une manœuvre de wagons, en remplissant les devoirs de son service.

M. Martin (Léon) a été admis à la Société en 1864. Il était élève de l'École Centrale et remplissait en dernier lieu les fonctions d'inspecteur du service télégraphique du Nord-Belge.

M. Touron a été admis en 1864. Il avait occupé les fonctions de conducteur des ponts et chaussées, au chemin de fer de Boulogne, et en dernier lieu il était chef de section au chemin de fer du Nord.

M. Thomé de Gamond est mort le 3 février 1876; la Société le compte parmi ses membres les plus illustres. Vous avez déjà lu, Messieurs, dans votre Bulletin de mai et juin 1876, la notice nécrologique publiée par nos soins sur la vie de M. Thomé de Gamond, si bien remplie par l'amour de la science de l'ingénieur. Je ne ferai donc que vous rappeler que notre illustre collègue a terminé sa carrière sur le champ d'honneur, en voyant prêt à s'accomplir un des rêves de sa vie si occupée, la traversée sous-marine de la Manche. Et lui qui a travaillé pendant de si longues années, qui a conçu de si grands projets, qui a été associé à de si grandes entreprises, il est mort laissant à sa famille, pour tout patrimoine, l'honneur d'un grand nom et le modèle d'une conscience et d'un désintéressement sans tâche.

M. Houël a été admis en 1848 à la fondation de la Société. Il était sorti de l'École des Arts et Métiers d'Angers en 1836, le deuxième de la promotion. Il a commencé sa carrière industrielle comme simple ouvrier ajusteur dans les ateliers de M. Saunier à Paris, d'où il est sorti en 1838 pour entrer comme dessinateur dans la maison Derosne et Cail, dont il fut nommé l'ingénieur en 1842. C'est sous sa direction qu'ont été exécutés, dans les ateliers de la maison Cail, les premiers lots importants de machines livrées aux chemins de fer. Il fut, vers la même époque le principal collaborateur de M. Thonnelier, dans la construction des presses monétaires. M. Houël

Digitized by Google

apporta aussi de grands perfectionnements aux machines de l'industrie sucrière, et à la suite de l'Exposition de 1849, il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur. Il continua à diriger les travaux de l'établissement J.-E. Coil et Cie jusqu'en 1868. Depuis cette époque, après avoir contribué avec MM. Parent, Schacken et Caillet à l'organisation des ateliers d'Oullins sur le chemin de fer de Lyon, il devint l'un des associés à la gérance de la Société Parent, Schacken, Caillet et Cie, et c'est sous sa direction qu'ont été fondés les établissements de Fives-Lille; il devint plus tard l'ingénieur en chef et l'administrateur délégué de la Société qui se forma sous le même nom. C'est dans cette position que la mort l'a trouvé, après une carrière laborieusement, utilement et honorablement remplie.

M. Poulain (Pierre) a été admis en 1873, comme membre associé. Il était élève de l'École polytechnique. Après avoir occupé plusieurs postes militaires importants, il était en dernier lieu commandant du génie au fort des Rousses, et il est mort en Afrique.

M. Mulot-Duriez a été admis à la Société en 1870. Il était élève de l'École centrale. Il a été ingénieur de MM. Durenne, et des ateliers de M. Nillus, au Havre, et en dernier lieu il exerçait la profession d'ingénieur civil à Paris.

M. Froment a été admis à la Société en 1872. Il était élève de l'École centrale. Il a été ingénieur à Fourchambault, puis à la raffinerie centrale de Douai, et à la fin de sa carrière il était ingénieur civil à Paris.

M. Blanco-Sanchès a été nommé membre de la Société en 1874. Il était ingénieur chargé de la construction et de l'entretien de routes et chemins de fer en Espagne. Et enfin, au moment où la mort l'a surpris, il était directeur général du chemin de fer d'Alar à Santander.

M. Robière a été reçu membre de la Société en 1870. Il était élève de l'École d'Aix. Il a débuté à la Compagnie des Paquebots transatlantiques, puis est venu à divers chemins de fer, et en dernier lieu il était chef de traction au chemin de fer de l'Est à Reims.

M. de la Harpe a été admis à la Société en 1875. Il était élève de l'École de Lausanne. Il a été employé aux mines et aux forges d'Anzin, et sa carrière s'est terminée comme associé gérant de la maison Boyer et Cie, constructeurs-mécaniciens à Vevey (Suisse).

M. Picard (Maurice) a été admis à la Société en 1864. Il était élève de l'École centrale. Il s'est occupé d'études et d'entreprises de chemins de fer.

M. Nye a été nommé membre de la Société en 1867. Il a été attaché à la maison Elwell depuis son enfance, et à sa mort il était ingénieur et associé de cette maison; c'est vous dire que sa vie est une vie de travail persévérant.

M. Voisin a été admis en 1874. Il était élève de l'École centrale. Il s'est occupé de l'industrie sucrière pendant toute sa carrière.

M. Schlumberger (Henri) a été admis à la Société en 1858. Il était élève de l'École centrale dont il fut un des remarquables élèves. Il est mort en

Digitized by Google

Alsace, l'un des chefs de la maison Schlumberger et Cie, dont il avait dirigé les grandes filatures avec les talents d'un ingénieur distingué et d'un grand industriel.

M. Lepeudry est un exemple des résultats où peuvent conduire une volonté ferme, l'amour intelligent du travail, et le sentiment du devoir. Embarqué à 14 ans, en 1814, il quitte la marine après 1816. Ses dispositions naturelles le portaient vers les arts; mais les nécessités de la vie l'obligèrent à ne pas les suivre. Il quitta l'Académie pour entrer résolûment dans les grades les plus humbles de l'Administration des ponts et chaussées, et il parvint promptement au grade de conducteur. Il passa alors au service de la Compagnie concessionnaire du canal de la Somme sous la direction de nos illustres maîtres, Mary et Bélanger, et y fit des études sur les cours d'eau et marais du Nord qui lui valurent en 1828 un prix de la Société de géographie. Il fut ensuite attaché aux travaux du service municipal de Paris, puis choisi en 1837 pour organiser le service de la canalisation du Gard. Il le dirigea jusqu'en 1847, époque à laquelle il fut nommé ingénieur-chef du service central de la voie, aux chemins de fer de l'Est, sous les ordres de son beau-frère M. Vuigner, ingénieur en chef de la Compagnie, et l'un de nos anciens Présidents. Après la mort de M. Vuigner, M. Lepeudry fut appelé par la Compagnie parisienne de l'éclairage par le gaz, qui lui confia les fonctions d'ingénieur-chef de la division des travaux. C'est dans ces fonctions que s'est terminée une carrière aussi utile qu'honorable, et estimée de tous ceux qui en ont été les témoins. M. Lepeudry était membre de la Société depuis la fondation, en 1848.

M. Poulain (Jules) a été admis à la Société en 1868. Il était élève de l'École *Turgot*. Il s'est occupé de questions de Brevets, et a été attaché au bureau des Etudes au chemin de fer d'Orléans; en dernier lieu il était ingénieur civil à Paris.

J'ai terminé, Messieurs, cette funèbre revue et, selon l'usage, je me propose maintenant de résumer brièvement devant vous les travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

Si, vous voulez bien jeter les yeux avec moi sur la table des matières qui ont été discutées dans les 21 séances qui nous ont réunis en 1876, vous verrez que ces matières ont été aussi nombreuses que variées.

Les mémoires présentés et discutés devant vous sont au nombre de 15, dont 8 seulement sont relatifs à l'industrie des chemins de fer.

Appartenant moi-même à cette industrie, j'ai cherché à composer les ordres du jour de vos séances de manière à ne pas paraître exclusif et à laisser se produire les représentants autorisés de toutes les industries.

Je vous ferai remarquer également avec satisfaction qu'en plus de quelques orateurs qui vous sont familiers, vous avez entendu de jeunes ingénieurs, nouveaux à la tribune, faire des communications très-intéressantes. C'est là une disposition que la bienveillance des Présidents devra encourager d'autant plus qu'elle contribuera à donner plus d'éclat à notre Société et à notre Bulletin, si recherché aujourd'hui en dehors de nous.

Digitized by Google

En reportant un peu nos regards en arrière, nous trouvons que les travaux ont porté sur la plupart des branches du génie civil.

MM. Dumont et *Joyant* nous ont fait une communication sur les chemins de fer à voie étroite de Lausanne à Échallens et de Turin à Rivoli, qui sont des exemples bien choisis de l'utilité de cette voie dans certains cas donnés et de son influence sur les résultats d'une exploitation susceptible de peu de développement.

M. J. Gaudry nous a donné des détails complets sur la reconstruction de la colonne Vendôme, et sur le prix de revient des travaux qui n'ont atteint que la somme de 269,326f.97, chiffre bien inférieur à celui qui avait été prévu, grâce à la simplicité des moyens employés.

M. Arson, qui a pris plusieurs fois la parole avec l'autorité que lui donnent un grand savoir et des travaux nombreux, a appelé l'attention de la Société sur l'intérêt que présente le traitement du bois dans les emplois industriels, et sur l'application des moyens mécaniques à ce traitement, pour la charpente, l'ébénisterie, la menuiserie et le charronnage.

Il serait désirable que nos collègues qui sont à la tête de grands établissements où se travaille le bois sous toutes les formes et pour tous les besoins, vinssent compléter les renseignements fournis par M. Arson.

M. Barrault a entretenu la Société de l'application pratique des nouvelles lois sur les marques de fabrique en Allemagne et en Angleterre, qui ne sont pas suffisamment connues en France des ingénieurs et du commerce. Il y a pourtant un intérêt considérable à ce que ces lois soient bien connues pour éviter les fraudes ou les pertes commerciales.

M. Mékarski a exposé, dans de longs et intéressants développements le système qu'il a appliqué à l'emploi de l'air comprimé à la locomotion. Vous avez suivi avec grand intérêt les discussions auxquelles ont pris une part active MM. Mallet, Regnard, Ermel, Badois, Périssé, Goschler, Hamers, Gautier, etc., et vous avez apprécié les procédés ingénieux de M. Mékarski pour rendre à l'air comprimé, au fur et à mesure de la détente, la chaleur absorbée par le travail même. Il ne m'appartient pas de me prononcer ici sur l'avenir réservé au système de M. Mékarski; il a subi les critiques et les approbations d'une discussion approfondie qui est faite pour éclairer les esprits; quoi qu'il advienne, il est juste de dire que la partie principale de l'œuvre de M. Mékarski, et qui est la base de son système, le réchauffage de l'air en travail, est une idée très-heureuse. Des documents ont aussi été fournis à la Société par M. Francq, ingénieur, sur la locomotive à eau chaude, dite sans foyer, qui est en expérimentation sur le tramway de Saint-Augustin à Courcelles. Ces documents et les expériences faites donnent un sérieux intérêt à ce système de locomotion.

Néanmoins, tout en approuvant des tentatives qui sont les manifestations du progrès, il est permis de dire à propos de tous les systèmes essayés jusqu'à ce jour, que pour la traction des tramways dans les grandes villes on n'a pas encore remplacé avantageusement, ni en France ni à l'étranger, la traction par chevaux. La recherche de la solution se complique, indé-

Digitized by Google

pendamment des difficultés inhérentes à la circulation, de questions de machines à construire, à entretenir, d'ateliers à établir, de grosses dépenses enfin à faire tout d'abord et que l'on craint de ne pas voir rémunérées par les produits.

M. Allaire a donné communication d'une note sur le raffinage des corps gras, qui a été l'objet d'une discussion approfondie avec MM. *Bonneville* et *Asselin*.

M. Gautier a développé, avec des détails théoriques très-précis, une note sur l'emploi comparatif des poutres en fer et en acier, au point de vue des épaisseurs, qui appelle l'attention sur la nécessité d'une réglementation sur l'usage de ces métaux dans les constructions publiques.

M. Bazaine a fait à la Société une communication très-importante, dans laquelle il a établi par des considérations et des calculs théoriques, la nouvelle formule de jaugeage des cours d'eau de MM. *Ganguillet* et *Kutter*, et son influence heureuse sur les progrès de l'hydraulique. Il est à désirer que cette formule soit aussi connue et appliquée en France, qu'elle l'est en Allemagne, en Suisse et en Italie.

M. Fouret a exposé théoriquement une méthode graphique, très-commode pour la détermination des moments fléchissants d'une poutre droite, qui devra trouver des applications très-fréquentes chez les constructeurs.

M. Sergueeff a présenté à la Société une note sur la fabrication de l'acide stéarique et du savon en Russie, qui est pleine de documents intéressants et nouveaux.

M. Schivre a donné communication d'une note sur les machines d'extraction pour les mines, à distribution de vapeur équilibrée, qu'il a perfectionnées très-heureusement.

M. Desmousseaux de Givré a développé avec l'autorité qui s'attache à ses recherches scientifiques, un travail sur la réalité des quantités prétendues imaginaires de la forme $a + b\sqrt{-1}$. Ce travail mérite l'attention de tous les mathématiciens.

M. Gillot a donné communication, au nom de M. Savy, d'un mémoire sur la fabrication des agglomérés de houille, à la Compagnie des mines de Graissessac.

M. Marché a présenté à la Société deux notes de grande valeur, l'une sur les propriétés physiques des aciers commerciaux, et sur l'étude des lois de la déformation permanente, l'autre sur le mécanisme des tarifs de chemin de fer. Dans cette dernière, vous trouverez représentées par des graphiques saisissants et instructifs les lois du mécanisme des tarifs, comparées au parcours des trains.

M. de Bruignac a fait à la Société une communication sur le précédé Sherman, qui consiste à employer l'iode dans les traitements métallurgiques pour faciliter la fusion. La discussion n'a pas encore suffisamment expliqué le rôle de l'iode employé en quantité infiniment petite dans ce procédé.

Digitized by Google

M. Goschler a présenté une étude intéressante sur les chemins de fer en Turquie. Cette étude révèle l'ingénieur expérimenté, habile à étudier son terrain; elle sera un très-bon guide pour les ingénieurs qui s'occuperont de la question.

M. Mallet a entretenu la Société du système de locomotives genre Compound, dont il est l'inventeur, et qui sont en construction et en expérimentation aux usines du Creusot. Le principe de ces machines à cylindres de diamètre différent a pour but de mettre la dépense toujours en rapport avec le travail à produire; les essais sont satisfaisants.

M. Mathieu (Henry) a fait à la Société des communications sur le Block-Système, sur l'installation des voies de triage en Angleterre et sur l'exploitation des chemins de fer en Autriche, qui appellent l'attention des ingénieurs de chemins de fer. Je recommanderai surtout, dans la note sur les chemins de fer d'Autriche, les détails qui sont donnés sur le mode d'emploi du télégraphe en exploitation. Ce mode d'emploi est tel que, lorsqu'une station prévient sa voisine du départ d'un train, tous les postes de garde intermédiaires sont prévenus par le passage de la dépêche. Si pareille installation existait sur nos lignes françaises, à une voie, les accidents seraient bien certainement souvent écartés; car les gardes prévenus à temps, arrêteraient entre les stations voisines les trains partis de ces stations à la rencontre l'un de l'autre.

M. Rubin a fait sur les communications possibles par chemins de fer entre l'Europe et l'Asie une étude très-complète, dans laquelle il a fait une comparaison des divers tracés proposés, qui dénote une connaissance approfondie de son sujet, et qui apportera certainement des éléments précieux au choix de la meilleure solution.

En résumé, Messieurs, vous voyez que les travaux de notre Société, en cette année, ont été nombreux et bien soutenus. Je dois vous en remercier, car loin d'avoir à chercher des sujets pour composer les ordres du jour de nos Séances et nos Bulletins, je n'avais que l'embarras du choix entre des mémoires, tous plus intéressants les uns que les autres. C'est un triomphe pour moi d'avoir obtenu tant de concours de tous mes collègues.

Je dois vous en remercier aussi parce que c'est à vous que je dois d'avoir pu faire publier aussi régulièrement nos Bulletins. Jamais nous n'avons attendu après la matière de nos publications, et aujourd'hui nous sommes en règle avec vous.

Vous avez dû recevoir aujourd'hui le mémoire de septembre et octobre 1876 et celui de novembre et décembre vous sera remis avant la fin de janvier courant. C'est donc une régularité parfaite pour laquelle nous devons bien aussi quelques éloges à notre Secrétaire, M. Husquin de Rhéville, qui a su, cette année, malgré l'augmentation du nombre des numéros, assurer la qualité et la rapidité de la publication de nos Annales.

La situation financière de notre Société n'est pas moins prospère que celle de nos travaux et j'aurai la satisfaction, en quittant le fauteuil de la Présidence, de vous laisser presque riches.

Digitized by Google

En effet, vous avez pignon sur rue, et tous frais payés, tout service fait du fonds courant et du fonds inaliénable, vous avez en caisse, à ce jour, 13,401f,02.

C'est encore vous qui avez produit cette heureuse situation en venant grossir nos rangs, en répondant à l'appel que j'ai eu l'honneur de vous faire, et que je me dépêche de vous renouveler pendant que j'en ai encore le droit, à propos de l'Exposition universelle de 1878.

En effet, notre Société s'est augmentée cette année de 414 membres, et compte aujourd'hui 1,346 Sociétaires.

Nous avons aussi encaissé cette année 11,000 francs des legs Nozo et Paul Séguin; mais, par contre, il reste encore à recouvrer en droits d'admission et cotisations, une somme de 18,391 francs, qui entre dans nos comptes. Je fais taire un instant mon enthousiasme, pour vous dire ce chiffre, et je laisse à MM. Loustau et Husquin le soin d'être grondeurs.

En somme, votre situation est, en deux chiffres très-éloquents, la suivante :

Total de l'avoir du fonds courant, se composant de l'encaisse et de 81 obligations du Midi 37 335f,10

Total du fonds inaliénable comprenant l'hôtel de la Société, et 19 obligations du Midi provenant du legs Nozo qui ont une affectation spéciale 286 747f,62

Pour compléter cette exposition de nos affaires intérieures, il me reste à vous rappeler que vous avez nommé une Commission pour faire un rapport sur la proposition qui vous a été faite de prolonger facultativement à deux années la durée de la Présidence. Le rapport est fait, et mon successeur y donnera la suite convenable.

Cette modification aux statuts aura, j'espère, de bons résultats, puisque la Société restera libre de n'autoriser la prolongation que lorsqu'elle sera en parfait accord avec son Président.

D'autres modifications aux statuts et au règlement pourront être étudiées, et vous être proposées pour que notre loi, qui date de 1848, soit mise plus en rapport avec le rôle influent que doit prendre notre Société. J'exprime ce vœu sans crainte, parce qu'en disant modification, je ne veux pas dire destruction, et que je pense que les idées conservatrices et progressives ne jurent pas d'être ensemble; on conserve ce qui est bon, et on améliore ce qui est défectueux, c'est de bonne administration.

Tout ce que je demande, du reste, se résume en trois mots, la prospérité, la considération et l'autorité de la Société dans le monde savant et industriel. Vous me trouverez toujours disposé à soutenir tout ce qui pourra favoriser le développement des trois points que je pose comme mes désirs suprêmes pour notre chère Société.

Je finis, Messieurs, cet adieu qui, heureusement, ne brise aucun des liens que j'ai avec vous; mais, avant de finir, avant de céder le fauteuil à M. de Dion, à l'habile ingénieur, au savant professeur, dont la parole est aimée et sera écoutée de chacun de vous, permettez-moi de vous exprimer encore

Digitized by Google

une fois ma profonde gratitude, pour l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à la Présidence, pour l'année qui vient de se terminer. Je serai complétement heureux si vous trouvez que je me suis rendu digne de vos suffrages.

Encore un mot, Messieurs, ce serait de l'ingratitude, si je l'oubliais. Permettez-moi de payer un juste tribut de reconnaissance à MM. Krantz et Dietz-Monnin, qui nous ont prouvé qu'ils aimaient notre Société, en nous donnant un grand nombre de places dans les Jurys de l'Exposition universelle de 1878. La Société des Ingénieurs civils saura à son tour prouver à MM. Krantz et Dietz-Monnin, qu'elle méritait leur bienveillance, et qu'en choisissant dans ses rangs, ils y auront trouvé des collaborateurs utiles et dévoués.

M. Richard cède le fauteuil à M. De Dion, qui prononce le discours suivant :

Messieurs,

Je suis profondément touché de l'honneur que vous m'avez fait en me nommant votre Président. C'est une lourde tâche que vous m'avez imposée. J'apporterai tout mon dévouement à la remplir; mais j'ai besoin de tout votre concours sympathique et j'espère qu'il ne me fera pas défaut.

Notre Société est parvenue aujourd'hui à une prospérité dont le développement continu est un gage assuré pour l'avenir. Tous vos Présidents, et mon prédécesseur, M. Richard, avec un zèle et un dévouement dont je le remercie en votre nom, ont fait pour l'accroître des efforts qui m'imposent des devoirs dont je sens toute l'importance.

Je n'ai pas besoin de vous rappeler, Messieurs, que notre succès réside dans l'intérêt de nos discussions, dans la richesse de notre bulletin et quoique le nombre et l'importance des mémoires présentés soient toujours en progrès, vous me pardonnerez de vous solliciter au travail, parce que notre passé nous oblige et que nous devons toujours chercher à faire mieux.

Le champ de nos travaux est bien vaste et parmi tant de sujets intéressants, je vous demande la permission d'arrêter quelque temps votre attention sur les applications de la mécanique à la résistance des matériaux. Je serais heureux que quelques mots sur l'historique de cette branche si intéressante des sciences appliquées, sur l'état actuel de nos connaissances à ce sujet, vous engageassent à nous présenter de bons mémoires, qui viendraient s'ajouter, à la collection déjà si riche des travaux que nous possédons sur cette matière.

Rien en effet, Messieurs, n'est plus propre à stimuler notre esprit, ne doit plus nous encourager dans l'étude de tout ce qui touche à notre profession,

Digitized by Google

que l'histoire des sciences. Non-seulement, elle nous enseigne comment les idées ont pris naissance et se sont développées, mais elle nous montre aussi combien souvent on passe à côté de la vérité et combien, lorsqu'on l'a trouvée, il faut encore d'efforts et de temps pour la répandre et pour lui donner la forme simple sous laquelle nous pouvons l'utiliser.

L'histoire de la résistance à la flexion des pièces employées dans les constructions nous en offre un exemple très-intéressant. Le premier essai d'une théorie de la flexion est dû à Galilée. A l'arsenal de Venise, on recherchait à l'aide d'expériences faites sur de petits modèles, à s'assurer de la résistance qu'offriraient de grandes charpentes; mais souvent les résultats de l'expérience ne répondaient pas aux prévisions des essais. Galilée voulut en rechercher la cause et pour cela découvrir les lois de la résistance à la flexion. Il croyait que la rupture des corps par traction se faisait brusquement et ne s'inquiétait pas de la compression; aussi, pour lui, le moment résistant de la pièce était égal à la force de traction totale qu'elle pouvait supporter suivant sa longueur, multipliée par la moitié de la hauteur de la section transversale, l'axe de rotation étant placé à la partie inférieure. Il arrivait ainsi à trouver une résistance trois fois plus grande que celle que nous admettons aujourd'hui; mais, s'il se trompait sur la valeur absolue, le rapport de résistance entre deux pièces de sections semblables était exact : la question spéciale qu'il étudiait était résolue. C'est en 1638, dans son second dialogue, qu'il exposait sa théorie.

Quarante ans plus tard, en 1678, Hooke, en Angleterre, montrait que les corps se déformaient avant de rompre, et il donnait son fameux principe *ut tensio sic vis*, base de la théorie d'élasticité que nous traduirons en disant que les déformations sont proportionnelles aux efforts qui les produisent. Hooke remarquait aussi que les barres élastiques fléchies sont dans chaque section comprimées autant qu'étirées.

Mariotte en France, vers 1680, faisait des expériences qui ont été publiées après sa mort en 1690, dans son *Traité du mouvement des eaux*. Il estimait que l'axe neutre est au milieu de la section de la pièce et constatait l'accroissement des efforts depuis cet axe, jusqu'aux fibres extrêmes. Mais dans son calcul, il se trompe du simple au double et trouve une résistance deux fois plus grande que celle que nous admettons. Il faut dire, qu'une expérience faite sur une petite tige en bois, de 3 lignes de diamètre, semblait donner raison à son calcul. C'est probablement à cela qu'on doit de voir Leibnitz (en 1684), Varignon (en 1702), et bien d'autres revenir à l'hypothèse de la rotation sur l'arête inférieure tout en admettant l'élasticité, hypothèse qui conduit à un moment de résistance deux fois trop grand.

Jacques Bernouilli (en 1705), rétablissait l'axe neutre à moitié hauteur de la section : il pensait que pour tous les corps la force de traction augmentait plus rapidement que l'extension ainsi que ses expériences le lui montraient pour les cordes à boyau, et ainsi que cela se produit aussi pour le caoutchouc lorsqu'il arrive aux dernières limites de sa résistance.

Toutes ces interprétations du phénomène sont dépourvues de rigueur,

Digitized by Google

les expériences sont incomplètes ; mais nous ne devons pas nous en étonner, parce que ces hommes célèbres étaient surtout préoccupés de la solution d'un problème particulier. Ils cherchaient à perfectionner la mesure du temps ; à propos des ressorts de montres, ils étudiaient les courbes élastiques et se livraient à une savante analyse pour laquelle il suffisait de savoir que l'accroissement du rayon de courbure d'une pièce est inversement proportionnel au moment fléchissant ; ils laissaient aux constructeurs le soin de trouver des règles pratiques pour déterminer le quantum de résistance. Ils n'avaient pas à construire, ils firent peu d'observations sur la nature des matériaux et la plus grande partie du dix-huitième siècle s'écoule dans ces incertitudes. C'est en 1773, qu'apparut un mémoire qui a été le point de départ de notre science moderne sur ce sujet.

Coulomb, officier du génie, se trouvant à la Martinique, se fit, pour son usage ainsi qu'il nous le dit lui-même, des règles pratiques pour calculer la résistance des murs de revêtement, des voûtes, des poutres. Composé depuis quelques années, ce mémoire fut présenté à l'Académie des sciences en 1773 et publié en 1776. Coulomb y résout en peu de lignes avec précision et clarté le problème de la résistance à la flexion. Il dit que les *efforts réels* de traction et de compression, dans une section, sont dirigés obliquement, vers un même point de la direction du poids qui produit la flexion ; qu'on les décompose théoriquement en efforts longitudinaux et en effort tranchant ; qu'en appliquant les trois équations de l'équilibre on obtient : l'égalité entre la somme des compressions et la somme des tensions longitudinales ; l'effort tranchant égal au poids, et enfin les moments des forces moléculaires égaux aux moments des forces extérieures.

Le problème est résolu pour une loi d'élasticité quelconque ; il en fait l'application à une pièce de bois parfaitement élastique, et à une pierre, remarquant que pour cette dernière, l'axe neutre se rapproche beaucoup de l'arête comprimée. Il dit aussi que l'effort tranchant n'influe que très-peu sur la résistance des solides lorsque ces derniers ont une grande longueur.

Ce que je viens de vous résumer, Messieurs, est contenu dans trois pages du mémoire intitulé, Essai sur une application des règles *de maximis et minimis* à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture, le reste du mémoire a trait aux voûtes, aux murs de soutènement et aux piliers.

Ce remarquable essai fut suivi en 1784 de son mémoire sur la tension et l'élasticité des fils de métal dans lequel il donne, sur la cohésion et l'élasticité, des notions exactes confirmées par toutes les expériences si nombreuses faites depuis cette époque.

Ces mémoires furent publiés par l'Académie des sciences, et il nous semble aujourd'hui, que grâce à une telle publicité ces notions, si simples et si faciles à contrôler, devaient se trouver vite vulgarisées, ou tout au moins, enseignées par les hommes spéciaux, quoiqu'elles ne fussent indiquées que d'une manière générale et sans application aux diverses formes des sections.

Digitized by Google

Mais les idées simples, exprimées en peu de mots, semblent ne relever que du bon sens; elles échappent souvent à l'attention parce qu'elles ne se présentent pas avec tout l'appareil de la science.

Quarante ans après Coulomb, en 1813, Navier en était aux opinions de Bernouilli; en 1819, il les rectifiait, mais il enseignait encore que les moments des tractions et des compressions sont égaux, et attribuait ainsi, à l'axe neutre une position inexacte; il oubliait la condition d'équilibre longitudinal. Mais, un esprit aussi éminent ne pouvait rester longtemps dans l'erreur; dès 1824, il reconnaissait que l'axe neutre passe par le centre de gravité de la section dans les solides parfaitement élastiques. C'est de lui et de cette époque que date la généralisation de la théorie de Coulomb. La forme algébrique donnée à l'enseignement, la tendance à se servir d'une formule au lieu de se poser à chaque fois le problème entier, faisaient perdre de vue le point de départ et conduisait souvent à des applications erronées : on arrivait à calculer les poutres avec l'équation des moments sans tenir compte de l'effort tranchant.

Je n'ai cité que quelques-uns des savants qui ont pris part à l'étude de la flexion. Je ne puis que rappeler les travaux de Tredgold, Dupin, Bélanger, Clapeyron et de bien d'autres que vous connaissez tous.

Vous ne me pardonneriez pas, cependant, Messieurs, de ne pas parler de Poncelet dans l'historique d'un problème de mécanique appliquée. Par ses cours il a répandu partout, aussi bien parmi les hommes de science que dans les ateliers, les notions certaines qui ont vulgarisé la science de la résistance des matériaux. Il aimait les démonstrations simples. Il avait l'esprit géométrique, cherchant à se rendre compte du phénomène lui-même, ne croyant jamais qu'on pût l'expliquer avec trop de clarté. De tous les principes des sciences il sut tirer des solutions lumineuses pour des questions qui ne paraissaient pouvoir être résolues que par des abstractions de l'ordre le plus élevé.

L'immense succès de son enseignement à Metz le fit nommer en 1838 professeur à la faculté des sciences. « Il ne retrouva, dit M. Bertrand dans l'éloge de Poncelet, ni les mêmes applaudissements, ni le même concours d'auditeurs. Des explications, trop minutieuses et trop élémentaires souvent, fatiguaient les élèves très-instruits déjà de la Faculté des sciences et les dispersaient mal pour les savantes discussions qu'elles précédaient; la nouveauté du langage troublait souvent les esprits instruits aux méthodes de Lagrange et les lecteurs assidus de la mécanique de Poisson. » Chacun cherche dans la science ce qu'il a intérêt à connaître; pour nous, Messieurs, qui sommes constamment préoccupés de nous garder des erreurs dont la conséquence serait funeste aux capitaux qu'on nous confie pour construire, souvent dans de trop courts délais, des ouvrages importants, nous allons droit au but, et nous trouvons dans Poncelet l'homme qui a le mieux étudié les problèmes dont nous nous occupons. Ses livres admirables sont une riche mine dont on a extrait et dont on extraira encore des trésors,

Digitized by Google

comme on en a trouvé dans ceux de Coulomb après un demi-siècle. Sa figure grandira comme celle de Coulomb, plus encore sans doute, et elle dominera tout ce qui l'entoure, alors que le temps, qui met toute chose à son rang, fera mieux ressortir l'influence qu'il a exercée sur la science.

On réimprime ses œuvres, puissions-nous avoir celles qui n'ont pas vu le jour, mais dont nous connaissons tant d'extraits recueillis par ses élèves !

Il y a 25 ans la théorie de la résistance à la flexion ne servait encore qu'à calculer des pièces reposant sur deux appuis encastrés ou non. En 1848, M. Flachat conçut le projet de reconstruire, avec des poutres droites continues en tôle, le pont d'Asnières qui venait d'être brûlé. En 1852, il mit son projet à exécution, et au sujet de ce pont, pour la première fois le calcul des poutres continues, qui était enseigné par Bélanger depuis 1842, fit son entrée dans la pratique.

Permettez-moi, Messieurs, de vous raconter une anecdote qui révèle à la fois la prudence et l'audace de M. Flachat. M. Molinos avait été chargé de l'étude de ce pont, il le calcula par la méthode de Bélanger, et présenta ses calculs à M. Flachat. Quelle sécurité ce dernier pouvait-il trouver dans des formules nouvelles qui n'avaient jamais été appliquées? Il voulut les contrôler, et me fit calculer chacune des travées du pont tantôt comme poutre posée, tantôt comme poutre encastrée, en me fixant pour chaque cas le coefficient de résistance de manière à tenir compte, dans la mesure qu'il jugeait convenable et d'après les cas de surcharge, de l'influence d'une travée sur sa voisine. Pendant que je faisais ces calculs, M. Flachat reçut le compte rendu de la Société des Ingénieurs civils anglais, dans lequel se trouve le mémoire de M. Pole sur le pont de Torksey.

Le pont de Torksey a deux travées; il fléchissait au passage des trains, et le contrôle effrayé l'avait interdit à la circulation. M. Pole en fit le calcul et conclut à un effort maximum sur les piles de 11 kilogrammes par millimètre carré de section, et par conséquent à la sécurité de l'ouvrage. Comme preuve du calcul, il annonçait les flèches que l'on trouverait en faisant des expériences de chargement; les expériences avaient été faites, les flèches prévues avaient été trouvées exactes à 1/30e près et le contrôle avait permis la circulation sur le pont.

Les formules de M. Molinos étaient semblables à celles de M. Pole. M. Flachat rassuré n'attendit même pas les résultats qu'il m'avait demandés, et les études du pont d'Asnières furent poursuivies. J'ai comparé les chiffres que j'avais obtenus en partant des hypothèses indiquées par M. Flachat avec ceux de M. Molinos; ils en différaient de bien peu, tellement un esprit sagace et profondément observateur peut quelquefois apprécier avec précision l'influence des données d'un problème! C'était ainsi que les architectes du moyen âge construisaient, sans l'aide d'équations algébriques, ces voûtes hardiment équilibrées que nous admirons encore aujourd'hui.

Les calculs du pont d'Asnières étaient la grande question qui préoccupait le bureau des études du chemin de fer de Saint-Germain, et c'est alors que

Digitized by Google

M. Clapeyron vint un jour apporter sur une petite feuille de papier ces équations, si souvent publiées depuis, et que M. Bertot a encore simplifiées. A partir de cette époque l'usage des ponts en fer se répandit rapidement. De toutes parts on réclamait des ingénieurs versés dans les calculs qu'ils exigent. Les écoles en firent avec de grands développements un sujet d'enseignement; mais, ainsi qu'il arrive si souvent, les spéculations algébriques devinrent prédominantes, on se cantonna dans quelques formules, s'ingéniant à en varier les données, supposant même des cas de surcharge qui ne se présentent pas. Le côté pratique et cependant bien intéressant du problème fut un peu perdu de vue. On a peu étudié l'influence de la déformation des sections sur le moment de résistance, la rigidité des divers éléments d'une poutre, le voilement, le mode de transmission des efforts d'une pièce à l'autre : autant de points encore bien obscurs aujourd'hui.

Une de ces questions a soulevé dans le temps de grandes discussions, c'est le coefficient auquel on peut faire travailler le métal. Les uns pensaient qu'il fallait prendre une fraction de l'effort produisant la rupture, dernier état seul à considérer et dont on devait se tenir à une sage distance. Les autres voulaient qu'on ne se préoccupât que de la limite d'élasticité, de ce point où la cohésion est vaincue et où la déformation permanente se produit; ils pensaient qu'alors le métal perd une partie de ses qualités et qu'avec le temps la rupture devait s'en suivre; chacun apportait à l'appui de son opinion des arguments et des expériences.

Ces premiers débats eurent pour conclusion dans notre pays la fixation de coefficients officiels à employer quelles que fussent d'ailleurs les formes adoptées pour les constructions et les conditions auxquelles elles sont soumises.

Cette prescription administrative, faite pour la sûreté de tous, eut une fâcheuse influence. En enserrant l'ingénieur dans des limites trop absolues, elle le dispose à la négligence et le pousse à l'imprudence. Qu'importe alors que certaines pièces, à raison des conditions dans lequelles elles sont placées, puissent supporter sans danger un effort de 10 et 12 kilogrammes et avec plus de sécurité que d'autres 3 ou 4? Pourquoi compliquerait-on les formes en recourant à une main-d'œuvre plus grande? pourquoi améliorerait-on le métal, si ce n'est pas pour diminuer le poids employé et par suite le coût de l'ouvrage? Après avoir été détourné de l'étude, faute de stimulant, on devient imprudent quand on se sent aiguillonné par le besoin d'économie; au lieu de chercher à répondre aux conditions naturelles on n'a qu'un but, satisfaire aux prescriptions administratives. De là que de hardiesses inconscientes, principalement dans certains de ces ponts en treillis si en vogue il y a quelques années! Il est même arrivé que tel de ces ouvrages est tombé aux essais sous les plus faibles surcharges, et cependant le contrôle ne pouvait s'empêcher de reconnaître que tout avait été bien disposé suivant les règlements, tout, sauf que les parois se tordaient comme une feuille de papier avant que de subir les tensions pour lesquelles elles étaient calculées.

Digitized by Google

Il faut donc, Messieurs, continuellement rappeler notre esprit à l'expérience, à l'examen détaillé de la nature; c'est le seul moyen de nous garantir contre l'erreur.

Si nous abordons maintenant les pièces courbes, nous rencontrons un problème beaucoup plus compliqué, dans lequel les déformations interviennent pour modifier les réactions des points d'appuis. Navier avait, en effet, remarqué que pour certaines pièces, comme pour les arcs par exemple, la déformation élastique modifie d'intensité et de direction les réactions des appuis, et que dans ce cas le calcul de la déformation devait précéder le calcul de la résistance, ou s'y introduire sous forme de conditions.

Depuis Navier on a étudié un certain nombre de cas, en supposant l'arc de section constant, circulaire ou parabolique et en faisant des hypothèses restreintes relativement à la répartition des charges. Ces études ont donné lieu à de savants mémoires qui ont jeté un grand jour sur la résistance des pièces courbes, mais elles ne répondent que bien incomplétement aux besoins de l'ingénieur.

Ainsi, il n'était pas question de tenir compte dans ces formules de l'action des tympans et encore moins de les appliquer à une pièce de forme irrégulière, comme une ferme faisant corps avec les colonnes qui la supportent, car comment dans ces cas-là obtenir des formules intégrables?

Quand on voulait aborder ces problèmes, on cédait à la tendance de subordonner la forme de la construction à la formule, de rendre chaque partie calculable indépendamment de sa voisine; ou bien si on ne renonçait pas au bénéfice de la liaison des différentes parties, on commençait par supposer la construction réduite à un squelette géométrique au moyen d'hypothèses qui éloignent considérablement la forme calculée de celle qu'on se propose d'exécuter, afin de pouvoir appliquer des formules rigoureuses.

Ces formules sont si longues et si pénibles à calculer, qu'un ingénieur ne saurait se fier à leurs résultats qu'après des vérifications de toute nature, que souvent il n'a pas le temps de faire. Cependant ces problèmes complexes se posent chaque jour et avec une instance de plus en plus pressante à mesure que l'emploi du fer se multiplie et qu'avec l'importance des ouvrages et leur hardiesse croissante, on éprouve le besoin de se rendre un compte plus exact de leur résistance réelle, et aussi que l'on sort des ponts de chemins de fer pour aborder des constructions plus architecturales.

Eh bien, Messieurs, ces problèmes peuvent être résolus sinon sans quelque peine, du moins avec toute la précision désirable, sans introduire ces hypothèses qui, nous éloignant considérablement de la vérité, nous jettent dans l'incertitude et troublent les résultats dans une mesure qui échappe à notre appréciation.

Permettez-moi de retenir un instant votre attention sur ce point capital de la question qui nous occupe.

Deux voies s'ouvrent à nous à l'origine d'une étude de ces constructions compliquées. Si nous voulons appliquer la méthode purement analytique et

Digitized by Google

rigoureuse, il nous faut complètement altérer les conditions du problème posé, ou bien, il nous faut au contraire nous interdire toute hypothèse gratuite et inexacte, et aborder le problème dans ses conditions réelles et complètes évitant ainsi toutes causes primordiales d'erreurs et en calculant les intégrales par des méthodes graphiques qui nous permettent d'approcher de l'exactitude absolue avec une limite d'erreur que nous pourrons nous imposer et accepter d'avance. Je n'ai pas besoin d'insister longtemps sur la comparaison de ces deux méthodes. La première ne peut nous satisfaire, elle peut, sans que nous en soyons avertis, nous éloigner de la vérité au point de devenir dangereuse.

La seconde, au contraire, est, pour des ingénieurs, exacte; car nous n'avons pas à nous occuper dans les applications d'une erreur renfermée dans les limites connues; en outre l'étude ainsi conduite nous éclaire sur tout le détail de la construction, et avec un peu de sagacité et d'habitude on peut en tirer les enseignements les plus précieux sur le rôle, les dimensions et la situation de toutes les parties d'un ensemble très-compliqué.

Sans doute, Messieurs, il n'y a rien dans ces considérations de nouveau quant au point de départ. Bélanger, dans sa *Flexion plane des solides*, a indiqué en quelques lignes les conditions générales du problème, et tout le monde peut intégrer les formules par des tracés graphiques.

Mais par la méthode graphique, de même que pour la méthode analytique rigoureuse (j'entends rigoureuse quant au calcul analytique mais fort inexacte quant aux hypothèses et aux résultats), on peut rechercher un grand nombre de solutions ayant pour but de simplifier l'étude, de reconnaître la signification des surfaces ou des volumes représentant l'intégration; ce sont des perfectionnements analogues à celui que M. Clapeyron a apporté au calcul des poutres droites. Ils sont extrêmement utiles, car, si pour un savant le problème est résolu quand l'équation générale est posée, il n'en est évidemment pas de même pour nous, et tous les travaux qui sont de nature à abréger nos calculs, à préciser les résultats et à nous permettre d'en tirer des enseignements plus complets, sont évidemment non moins précieux; on peut dire, Messieurs, que beaucoup reste à faire dans cette voie; mes travaux habituels m'ont porté à m'y engager. Permettez-moi, avant de terminer, de vous indiquer en quelques mots les résultats auxquels je suis arrivé.

La méthode consiste à employer toutes les données qu'on peut obtenir par des mesures prises sur l'épure, aussi bien pour les lignes courbes que pour les coordonnées, et à calculer les intégrations par des tracés graphiques.

On peut alors conserver dans les équations de conditions toutes les variables indépendantes les unes des autres, ce qui laisse l'équation sous une forme simple; tandis que si l'on voulait les rendre intégrables il faudrait les introduire toutes en fonction de l'une d'entre elles, ce qui est très-complexe. On aborde donc le problème tel qu'il est, certain de ne pas tomber dans un calcul inextricable.

La difficulté de ces études réside dans la nécessité de se rendre un compte

Digitized by Google

très-exact de la manière dont les pièces se déforment afin de ne jamais perdre de vue la signification de la construction graphique.

Supposons un bâton en cire irrégulier dans sa section et affectant dans son ensemble une forme courbe.

Suivons le déplacement d'une des extrémités au fur et à mesure que nous modifierons la courbure du bâton à partir d'une section supposée fixe.

En courbant le bâton sur une petite longueur nous inclinons, l'une par rapport à l'autre, les deux sections limites de cette petite longueur, et toute la partie du bâton placée en avant de la portion courbée est entraînée dans le mouvement angulaire; le déplacement de l'extrémité est d'autant plus grand qu'elle est plus éloignée : il est égal au produit de sa distance par le mouvement angulaire. En continuant à infléchir le bâton de cire, on remarque que l'extrémité décrit une courbe, ainsi que l'a observé Poncelet; mais cette courbe, que pour la commodité du raisonnement nous supposons tracée dans un plan vertical, présente cette propriété que les projections verticales et horizontales de ses éléments sont égales aux mouvements angulaires multipliés par les abscisses et les ordonnées de l'extrémité par rapport à la section dans laquelle la flexion a lieu.

Le mouvement angulaire est d'autant plus grand que le moment fléchissant est plus considérable, et il diminue quand le moment d'inertie ou le coefficient d'élasticité augmente. Il est enfin proportionnel à la longueur sur laquelle la flexion se produit. Entre deux sections infiniment rapprochées, il est égal au rapport du moment fléchissant au moment d'inertie et au coefficient d'élasticité multiplié par la distance des deux sections; ou, en employant un terme nouveau, il est égal à l'*infléchissement* multiplié par la distance des deux sections.

Si donc, on développe l'axe neutre de la pièce à calculer, et si l'on porte en ordonnées en chacun des points une ligne représentant l'*infléchissement*, on obtient une surface dont la superficie, entre deux points de l'axe neutre, est égale au mouvement angulaire d'un de ces points par rapport à l'autre.

Il ne reste donc plus qu'à porter perpendiculairement à cette surface des longueurs représentant les distances du point extrême à la section, ou les coordonnées de ces distances, pour avoir un volume égal à la longueur du déplacement courbe de l'extrémité, ou à la longueur de ses projections. En coupant ce volume par tranches dans la hauteur, *on obtient les déplacements d'un point quelconque par rapport à un autre.*

Ainsi il suffit de connaître l'axe neutre, les moments d'inertie, et les moments fléchissants d'une pièce courbe pour en déterminer les mouvements angulaires et les déplacements de chacun de ses points.

Les deux premières quantités, l'axe neutre et le moment d'inertie dépendent uniquement de la forme des sections transversales de la pièce; elles nécessitent un calcul laborieux, nécessaire d'ailleurs, quelle que soit la méthode employée quand les sections varient beaucoup.

L'axe neutre doit être tracé sur l'épure du projet, parce qu'on aura à le développer et à en prendre les coordonnées. Il est utile de représenter les

Digitized by Google

moments d'inertie par des ordonnées portées sur le développement de l'axe neutre, afin de pouvoir d'un coup d'œil en vérifier l'exactitude.

Il ne reste plus qu'à déterminer les moments fléchissants qui sont produits par les forces extérieures dont les unes sont connues et les autres inconnues. Ces dernières sont généralement les réactions des appuis. Si la pièce courbe n'a que deux points d'appui, en chacun de ces points elle éprouve un déplacement et un mouvement angulaire nuls, ou dont les valeurs sont déterminées.

D'un point d'appui à l'autre on a donc, comme pour les poutres des ponts à plusieurs travées, deux équations de conditions.

Pour fixer les idées sur la marche à suivre, supposons un exemple simple, un arc, et tout d'abord supposons les naissances reposant sur une articulation qui laisse toute liberté aux mouvements angulaires. Si cet arc était posé sur de la glace, n'offrant aucune résistance horizontale, la charge verticale produirait des moments comme dans une poutre posée; ils seront donc connus, et on pourra calculer par les courbes l'écartement des naissances. Considérons ces moments comme positifs : si on suppose maintenant que ce même arc est mis à plat sur le sol pour qu'il soit dans son état naturel et qu'on presse les naissances l'une vers l'autre avec une force dont on se donnera la valeur, les moments fléchissants seront connus, ils seront négatifs et le rapprochement des naissances s'en déduira. Or le rapprochement étant proportionnel à la force horizontale, on pourra par une simple proportion connaître le rapprochement produit par l'unité de force; ce rapprochement est le coefficient dont doit être affectée la force inconnue qui presse horizontalement les naissances. On peut alors poser l'équation de condition pour le déplacement. En effet, quand l'arc sera monté et chargé, les naissances ne changeant pas de place, l'écartement que la charge verticale tend à produire est égal au rapprochement qui serait dû à la poussée horizontale.

La deuxième condition est que le moment d'encastrement est nul, l'articulation supposée permettant tout mouvement angulaire.

Si les naissances de l'arc n'éprouvent aucun mouvement angulaire, il y aura toujours encastrement, et la pression horizontale que nous venons de calculer sera modifiée. Dans ce cas, on peut calculer pour l'arc dans son état naturel : les mouvements angulaires et les déplacements qui seraient produits par un moment d'encastrement dont on se donne la valeur, et comme ces quantités sont proportionnelles à ce moment d'encastrement hypothétique, on en déduit le coefficient qui affectera le moment d'encastrement réel pour obtenir les mouvements angulaires et les déplacements qui lui correspondent. On peut alors écrire les deux équations de conditions relatives à la fixité ou au déplacement prévu du plan des naissances.

Pardonnez-moi, Messieurs, d'être entré dans des détails arides, et qui sont, je le crois, malgré mes efforts, bien difficiles à suivre sous la forme trop concise et trop incomplète dans laquelle j'ai dû me renfermer. J'aurais voulu vous donner une idée de ces méthodes intéressantes qui permettent

Digitized by Google

d'aborder l'étude non-seulement d'une pièce de section variable soumise à des charges quelconques, mais encore des effets de la dilatation et des efforts du vent sur ces arcs, et qui peuvent s'étendre avec la même facilité que pour les poutres droites aux pièces courbes reposant sur plusieurs appuis. Mais il faut me borner, Messieurs; je ne voudrais pas vous laisser penser que nous donnerons cette année une trop large part aux études théoriques. Je vous demande au contraire avec instance de fournir à nos discussions les éléments les plus variés puisés dans toutes les branches de notre profession.

Si j'ai cru pouvoir vous entretetenir, peut-être trop longuement, d'un sujet spécial, c'est que la Société des Ingénieurs civils a joué dans cette question un rôle considérable qu'il importe de ne pas laisser dans l'oubli. Comme c'est à des Ingénieurs civils, nos collègues et nos maîtres, qu'appartient l'initiative de l'application sur une grande échelle du fer dans les constructions, c'est devant vous que les études théoriques auxquelles ces travaux ont donné lieu ont été exposées tout d'abord, avec le plus de soin et de détails. Vous avez toujours suivi avec intérêt le développement de ces recherches auxquelles un grand nombre de vos collègues ont pris une si large part. Ce sont des traditions que vous ne voudrez pas laisser perdre; et j'aurai atteint mon but, si j'ai pu vous confirmer dans cette conviction que, malgré tant d'études, le champ d'explorations utiles immédiatement applicables à nos travaux, est encore bien vaste et qu'il réserve une moisson abondante à ceux d'entre vous qui voudront l'exploiter.

Le procès-verbal de la séance du 15 décembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de M. Bouquet.

M. LE PRÉSIDENT annonce que MM. Caillot, Ch. Callon, Forquenot, Victor Lecœuvre, Mathieu Henri, ont été nommés Membres de la Commission consultative se rattachant à l'installation des machines en mouvement à l'Exposition universelle de 1878, et que M. Thirion a été nommé membre du Comité consultatif du Contentieux.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre qu'il a reçue de M. F. Schmidt, Président de la Société des Ingénieurs et architectes de Vienne.

« Monsieur le Président,

« J'ai bien reçu votre aimable lettre datée du 4, par laquelle vous m'annoncez que la Société des Ingénieurs civils de Paris m'a fait l'honneur de me nommer membre honoraire.

« C'est avec un sentiment de très-haute fierté que je vais accepter cette nomination! et je vous prie, monsieur le Président, de vouloir bien être l'interprète de ma vive joie et de ma profonde reconnaissance vis-à-vis de mes chers collègues français!

Digitized by Google

« Votre lettre, ayant été lue dans la dernière séance de notre Société, m'a fait avoir les congratulations les plus affables de la part des 342 membres de notre Société réunis ce soir même, ce qui m'a prouvé que la Société des Ingénieurs et Architectes d'Autriche ressent avec moi une satisfaction extraordinaire à cause de cette nouvelle preuve de la cordialité et de l'estime mutuelles qui existent entre les Ingénieurs et les Architectes français et autrichiens.

« Permettez-moi, monsieur le Président, de joindre à l'expression de mes remerciments les plus sincères le souhait que les nœuds d'une amitié de jour en jour plus solide et plus intime s'étreindront toujours entre nos deux Sociétés.

« Veuillez agréer, monsieur le Président, l'assurance de ma plus haute considération et de ma parfaite estime! »

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante adressée par M. Chabrier.

« Monsieur le Président,

« Je suis chargé par l'un de nos nouveaux collègues, M. Bömches, de remettre à la Société un Mémoire sur les travaux de construction des bassins du port de Trieste, dont il est chargé. Ceux de nos collègues qui ont eu, cette année même, l'avantage de visiter ces chantiers seront certainement frappés de la clarté de cette description si concise, quoique complète et remplie de chiffres.

« Je me tiens à la disposition de la Société pour lui donner lecture de ce travail dans la séance que vous voudrez bien indiquer; mais en attendant, je prends la liberté d'appeler l'attention de tous ses Membres sur l'intérêt que présente pour nos archives les communications de la nature de celle-ci. Des notices analogues de la part de tous ceux de nos collègues qui sont chargés de grands travaux nous constitueraient bientôt une bibliothèque d'un caractère particulier bien remarquable.

« Veuillez bien recevoir, monsieur le Président, etc. »

M. LE PRÉSIDENT donne communication de la lettre de M. Orsat.

« Monsieur le Président,

« J'ai l'honneur de vous faire remettre un exemplaire du travail de la Commission d'enquête sur le projet présenté par la Ville de Paris pour conduire les eaux d'égout, employées en irrigations, de la presqu'île de Genevilliers jusqu'à la partie Nord de la forêt de Saint-Germain. La Société des Ingénieurs civils s'est, à plusieurs reprises, occupée de cette question.

« L'important travail de M. Ronna a été publié dans ses Mémoires et récompensé par elle.

« M. Durand-Claye, ingénieur des Ponts et Chaussées, l'a également entretenue des essais de Gennevilliers.

« A ces titres, j'ai pensé que la Société suivrait avec intérêt le travail qui vient d'être fait.

Digitized by Google

« Les membres de la Commission d'enquête ont insisté pour que la publicité la plus large soit donnée aux résultats de leurs travaux, à l'imitation de ce qui se fait avec tant de succès en Angleterre, en faisant connaître également les divers projets qui ont été proposés par plusieurs ingénieurs de mérite pour remplacer l'irrigation.

« La Ville de Paris a accepté avec empressement cette demande et a désiré même y joindre un recueil des documents administratifs précédant l'enquête, de sorte que l'ouvrage formé de ces documents administratifs du rapport remarquable de la Commission fait par M. Schlœsing, des procès-verbaux des séances et des pièces annexes, forme un tout complet qui peut être consulté avec profit.

« Aujourd'hui que cette question intéresse plus ou moins directement les grandes municipalités du monde entier, il était bon de connaître ce que veut faire la Ville de Paris au moment où elle abandonne définitivement la voie des essais pour aborder la solution pratique, complète du problème qui s'impose à elle.

« Trois membres de la Société des Ingénieurs civils ont donné leur concours à cette Commission présidée par M. Boulay, de l'Institut, ce sont MM. Callon, Bandérali et Orsat, secrétaires. M. Vautier en outre, collègue et conseiller municipal, avait cru devoir refuser la mission d'en faire partie.

« Je vous prie d'agréer, monsieur le Président, etc. »

M. Mallet commence sa communication sur l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives. Il fait remarquer tout d'abord que si ce genre de machines, dont il existe actuellement quarante mille exemplaires au moins dans le monde entier, d'après certaines statistiques, a été minutieusement étudié jusque dans les moindres détails, soit comme véhicule, soit comme générateur, soit enfin comme mécanisme, on s'est, en général, beaucoup moins préoccupé de sa manière d'agir en tant que machine à vapeur proprement dite.

Jusque dans ces derniers temps, la question de l'utilisation de la vapeur avait été considérée comme secondaire, et la plupart des ouvrages spéciaux ne donnaient que des renseignements très-imparfaits sur ce point, ou même le présentaient sous un jour tout à fait inexact. M. Mallet avait donc essayé de combler ce qui lui paraissait une regrettable lacune dans l'étude de la machine locomotive, et se flattait de l'espoir de présenter à la Société des Ingénieurs civils un travail empreint d'une certaine originalité.

Mais dernièrement, M. Couche, inspecteur général des mines, a fait paraître un dernier fascicule qui forme le couronnement de son grand ouvrage : *Voie et matériel roulant des chemins de fer*. Dans cette dernière partie, l'éminent professeur a abordé la question du travail intime de la vapeur dans les cylindres, et, nous avons à peine besoin de le dire, a imprimé à cette étude son cachet magistral. M. Mallet a pensé toutefois que si l'originalité de son travail était quelque peu diminuée, il devait s'en considérer comme amplement dédommagé par l'honneur de se voir en parfaite communauté

Digitized by Google

d'idées avec un auteur dont les ouvrages sont aujourd'hui classiques; de plus, en se proposant de ne traiter la question des locomotives qu'au point de vue exclusif de l'utilisation de la vapeur, il pouvait entrer dans des détails que ne comportait pas un ouvrage d'une portée beaucoup plus vaste, et comme d'ailleurs il pensait avoir introduit dans son étude des aperçus et des méthodes d'investigation qui lui sont personnelles, il a cru qu'après le livre de M. Couche, il y avait encore place pour des travaux plus modestes, et c'est pour cela qu'il s'est décidé à donner suite à la communication qu'il avait annoncée.

L'espèce de négligence que la plupart des ingénieurs de chemins de fer et des constructeurs de locomotives ont longtemps témoignée pour l'étude approfondie du travail de la vapeur, tient en partie à la complexité même de l'ensemble de la machine, complexité qui les détournait de l'examen de questions dont l'importance leur semblait secondaire, en vertu de cette opinion si répandue que la dépense de combustible n'étant qu'une fraction des frais de traction, une économie même notable réalisée sur la première ne produirait qu'une réduction insignifiante du coût de transport des voyageurs et des marchandises; elle tient aussi à ce que dès l'origine on a répandu et entretenu comme à plaisir les idées les plus fausses sur les machines locomotives qui, selon bien des gens, faisaient absolument exception dans la grande famille des machines à vapeur.

Il est facile de prouver qu'il n'en est rien. Au sujet de la mesure de la puissance réalisée, par exemple, si chaque application industrielle du travail développé par la machine à vapeur peut nécessiter l'emploi de certaines méthodes de mesure du travail *net* utilement réalisé en unités commerciales différentes dans chaque cas, il n'en est pas moins vrai que, du moment où le travail *brut* est produit par une machine à piston, on peut mesurer ce travail *brut* et avoir une unité comparable dans tous les cas, et cette comparaison faite dans des conditions tout à fait légitimes peut conduire aux résultats les plus importants pour l'amélioration des machines.

La puissance *brute*, dont il vient d'être question, est ce qu'on appelle généralement puissance *indiquée*, parce que l'un de ses éléments, la pression moyenne effective par unité de surface du piston, est déduite d'un diagramme relevé à l'indicateur.

L'obtention de courbes d'indicateur sur les machines locomotives a donc une très-grande importance, mais elle ne laisse pas que d'être très-laborieuse, à cause de la difficulté matérielle d'installer les instruments et surtout à cause de la nécessité de relever un très-grand nombre de diagrammes, si on veut réellement obtenir le travail *moyen* développé par une machine dont la puissance varie d'un instant à l'autre, suivant les conditions de vitesse, de profil, etc.

Les indicateurs diffèrent surtout par le mode de mouvement du papier sur lequel se trace les diagrammes; on peut les diviser en deux catégories générales, ceux où le papier ayant un mouvement alternatif conserve la trace d'un diagramme fermé, et ceux où le mouvement du papier étant con-

Digitized by Google

tinu, le diagramme est également continu. Dans cette seconde classe le papier est commandé, soit par la tige du piston, soit par l'essieu moteur, soit par un mouvement d'horlogerie. Avec les diagrammes continus il serait difficile d'apprécier la séparation des tracés appartenant à chaque demi-course, si on ne s'arrangeait de manière à faire figurer automatiquement cette séparation sur les diagrammes. M. Mallet a proposé récemment une disposition d'indicateur spécialement applicable aux locomotives, et dont l'installation n'exige aucune transmission. Le papier est mu par un mouvement d'horlogerie, mais seulement au moment où on désire relever un diagramme, la liaison du tambour porte-papier étant faite à distance et instantanément par un embrayage électrique; les fins de course sont marquées avec une précision parfaite par des étincelles électriques qui, partant du traceur des pressions, au moment où le piston de la machine arrive à chaque fin de course, percent le papier à des points convenables de la courbe; enfin un compteur fait, à chaque seconde, jaillir d'un traceur fixe qui marque la ligne atmosphérique des étincelles dont l'écartement sur le papier, rapproché du nombre de demi-courses qui s'y trouvent représentées, donne immédiatement la vitesse de fonctionnement, c'est-à-dire le nombre de tours. On a donc sur le diagramme tout ce qu'il faut pour apprécier la puissance, sans être obligé de recourir à des observations de plusieurs natures.

Si les diagrammes d'indicateurs ont une grande utilité pour l'appréciation du travail développé, comme aussi pour l'étude des phases de la distribution, ils ne peuvent donner, au moins en général, que des indications très-incomplètes quant à la dépense de vapeur, et de grandes erreurs ont été ainsi commises. On peut cependant en tirer un parti utile, même à ce point de vue, en leur faisant subir certaines modifications comme on le verra plus loin.

M. Mallet passe rapidement en revue les principales expériences qui ont été faites dès l'origine des locomotives, pour étudier le travail de la vapeur dans ces machines, et leur dépense en eau.

Dans les premiers temps de l'exploitation des chemins de fer avec la locomotive, on se préoccupa surtout de l'étude des résistances des véhicules et des machines; aussi ne trouve-t-on dans les premiers ouvrages que fort peu de renseignements au sujet de la dépense de ces machines rapportée au travail effectué. M. Mallet a cependant cherché à s'en rendre compte, et, d'après les données contenues dans le traité des chemins de fer de Wood, traduction de MM. de Montricher, de Franqueville et de Ruolz, il a obtenu les résultats comparatifs figurés dans le tableau suivant.

Si ces chiffres ne peuvent être considérés comme d'une exactitude rigoureuse, ils sont tout au moins fort admissibles, et présentent un réel intérêt au point de vue de la comparaison avec des machines plus récentes.

Digitized by Google

NOM DES MACHINES.	ROCKET.	SANS-PAREIL.	ATLAS.	VESTA.
Nombre de tours par minute.....	85	95	56	152
Vitesse en kilomètres à l'heure....	22k.6	24.2	16	43.6
Rapport des surfaces de chauffe directe et totale.....	1/6.9	1/5.8	1/4.7	1/5.7
Puissance brute sur les pistons...	7ch.15	8.75	60	43
Dépense d'eau par cheval brut et par heure.....	60 litres.	65	22.5	40
Nombre de chevaux par mètre carré de grille.....	12.8	9.51	70	65
Nombre de chevaux par mètre carré de chauffe.....	0.56	1.05	2.55	1.76
Eau vaporisée par mètre carré de chauffe et par heure.....	32.5	68	51	70

L'examen du tableau précédent suggère les réflexions suivantes. Les dépenses d'eau de 60 et 65 litres par cheval brut et par heure des deux premières machines, chiffres dont la concordance est d'ailleurs remarquable, ne sembleront pas trop élevées, si on remarque que la pression effective sur le piston devait être très-médiocre tant à cause de la faible pression à la chaudière, 3.5 atmosphères, que de la vitesse assez grande de fonctionnement 85 et 95 tours qui avec des distributions sans avance devait considérablement diminuer l'effet utile.

Dans les deux autres machines, la pression était plus élevée et la distribution améliorée; aussi la dépense est déjà beaucoup réduite.

La machine *Vesta*, marchant à 152 tours consomme néanmoins beaucoup plus que la machine *Atlas*, faisant 56 tours seulement; c'est une conséquence du système de distribution qui ne se prêtait pas à une grande vitesse de rotation. On sait que la modification de la réglementation des tiroirs des machines importées d'Angleterre pour les chemins de fer de Saint-Germain et Versailles faite sous la direction de M. Clapeyron a immédiatement produit une importante économie.

On sera également frappé de la vaporisation considérable de ces machines primitives. Ce fait, en dehors d'une proportion d'eau entraînée qui pouvait être exagérée, s'explique par la disposition de la surface de chauffe; en effet, la surface directe variait par rapport à la surface totale de $\frac{1}{4.7}$ à $\frac{1}{6.9}$, tandis que dans les machines actuelles ce rapport est très-rarement de $\frac{1}{10}$, généralement de $\frac{1}{15}$ et s'approche quelquefois de $\frac{1}{20}$.

On remarquera enfin le chiffre de 22k.5 d'eau par cheval et par heure pour la machine *Atlas;* ce chiffre se justifie parfaitement pour une machine même fonctionnant presque sans détente aucune.

Il est toutefois curieux de constater, comme on le verra plus loin, que dans certaines conditions de fonctionnement, nos machines modernes si

Digitized by Google

perfectionnées au moins en apparence, dépensent autant que les anciennes machines de Stephenson, qui couraient, il y a *quarante-cinq ans*, sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester.

De 1834 à 1836, le comte de Pambour, ingénieur français, fit de nombreuses expériences sur les locomotives des chemins de fer de Liverpool à Manchester et de Darlington ; en comparant le poids d'eau mesuré au tender, et introduit dans la chaudière avec le poids calculé dépensé dans les cylindres aux pressions, introductions et vitesses observées, M. de Pambour trouva invariablement une différence trop grande pour pouvoir être attribuée à des fuites ou pertes d'un ordre ordinaire, cette différence variait de 9 à 32 pour 100, et était en moyenne de 24. Il l'attribua à l'eau entraînée avec la vapeur. On a souvent fait observer que cette perte apparente devait être augmentée, parce que l'observateur avait à tort pris pour pression moyenne pendant l'admission la pression de la chaudière, et qu'en conséquence la perte devait correspondre à 30 ou 40 pour 100.

En 1843, M. Combes présenta à l'Académie des sciences une note dans laquelle, s'appuyant sur des expériences faites à l'indicateur par notre regretté collègue Thomas, il expliquait la véritable action de la vapeur dans les machines détendant notablement sans enveloppe de vapeur.

Dans la plupart des machines, disait M. Combes, et probablement dans toutes, une partie de la vapeur admise au cylindre se liquéfie immédiatement par l'action refroidissante des parois du cylindre, dont la capacité était, quelques instants avant, en communication avec le condenseur; il se forme dans le cylindre de l'eau liquide aux dépens de la vapeur admise, indépendamment de celle qui peut être entraînée à l'état globulaire de la chaudière dans le cylindre.

L'eau liquéfiée se vaporise de nouveau pendant la détente ; de sorte que de nouvelles quantités de vapeur s'ajoutent pendant cette détente à la vapeur déjà existante, c'est ce qui fait que les tensions diminuent moins rapidement que suivant la raison inverse des volumes.

On comprend, dès lors, que si on veut apprécier le poids de vapeur dépensée d'après le poids existant au cylindre au commencement de la détente, on fera une erreur plus ou moins grande, puisque ce poids dans les machines à expansion notable est moins considérable que celui qui se trouve présent au cylindre à la fin de la détente.

Il est singulier que l'observation parfaitement juste de M. Combes ait été pendant si longtemps généralement méconnue.

Les expériences de M. Lechatelier, faites en 1843 et 1844, sur la machine *Mulhouse* à détente Meyer, montrèrent une différence s'élevant en moyenne à 32 pour 100 entre l'eau mesurée et la vapeur calculée. Cette différence doit être augmentée pour la raison qui a été donnée à propos des expériences de Pambour.

MM. Gouin et Lechatelier, dans leurs expériences sur la machine à détente fixe, *Gironde*, faites au moyen de l'indicateur, trouvèrent une perte de 18 pour 100. La machine détendait peu.

Digitized by Google

Enfin, MM. Bertera et Polonceau, dans des expériences faites au chemin de fer d'Orléans, constatèrent la relation de la déperdition d'eau et de la détente; ainsi, à 25 pour 100 d'admission, on trouva une perte atteignant 52 pour 100, tandis qu'à 35 pour 100, la perte était seulement de 42 pour 100. Dans ces expériences on avait fait usage de l'indicateur.

M. Daniel Gooch, a fait de 1849 à 1851, d'importantes expériences sur la machine à voie large, *Great-Britain*, type d'une puissance extraordinaire pour l'époque. Il releva sur cette machine un très-grand nombre de diagrammes d'indicateurs; on faisait ces relevés à des intervalles réguliers d'un mille (1609m). La machine était à cylindres intérieurs logés dans la boîte à fumée.

M. Gooch établit pour chaque diagramme le poids de vapeur présent au commencement de la détente et à la fin de celle-ci, soit l'*équivalent d'eau initial et final*, et il fait la différence de ces équivalents; il a constaté que, pour les faibles expansions, la différence est négative, c'est-à-dire que l'équivalent final est moindre que l'initial et qu'il y a condensation, et que pour les expansions considérables il y a différence positive, soit excès final de vapeur. La différence des équivalents rapportée à l'équivalent initial a varié de — 1,2 pour 100 à + 3,3 pour des admissions allant de 0,736 de la course à 0,400.

Il est à regretter, qu'il n'ait pas été fait d'observations directes sur les quantités d'eau dépensées effectivement.

En 1850, M. D. K. Clark a fait des expériences plus complètes sur des machines du *Caledonian Railway*, avec relevés à l'indicateur et mesure directe de la dépense d'eau.

De ses observations, M. Clark a conclu à une variation de la différence des équivalents d'eau, initial et final, différence rapportée à l'équivalent initial, en proportion de l'expansion réelle de la vapeur, variation représentée sensiblement par une ligne droite.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de ce rapport pour un certain nombre de degrés d'expansion, soit pour les cylindres extérieurs, soit pour les cylindres intérieurs.

ADMISSION en centièmes de la course.	EXPANSION réelle de la vapeur.	Rapport de la différence des équivalents d'eau final et initial à l'équivalent initial.	
		Cylindres extérieurs.	Cylindres intérieurs.
0.525	1.500	— 1.25	— 3
0.500	1.530	0	»
0.325	2.000	+ 17.50	0
0.190	2.500	+ 36.25	+ 3
0.130	3.000	+ 55.00	+ 6
»	3.500	+ 73.75	»
»	4.000	+ 92.50	»

Digitized by Google

M. Clark a rapproché les résultats ainsi obtenus, des constatations directes de la dépense d'eau effective et a cherché à opérer une répartition pour chaque machine soumise à l'expérience entre la quantité d'eau condensée au cylindre, et la quantité d'eau non vaporisée entraînée mécaniquement avec la vapeur. Cette répartition repose en partie sur des hypothèses qui semblent prêter le flanc à la critique, et sans entrer dans l'examen de cette question délicate, on renverra à l'ouvrage bien connu de l'ingénieur anglais, *Railway Machinery*, où elle est traitée très-longuement. Il est cependant à propos de citer les conclusions générales de M. Clark.

1° Quand la vapeur est admise au cylindre, il y a une condensation plus ou moins considérable pendant l'admission, et cette condensation se continue en partie pendant l'expansion; la chaleur qui en provient est absorbée par les parois du cylindre et les réchauffe. Une partie de cette chaleur est perdue, mais une partie demeure emmagasinée, et est ensuite reprise par la vapeur condensée pendant l'expansion, si celle-ci est prolongée suffisamment, c'est-à-dire, jusqu'à ce que la température de la vapeur tombe au-dessous de celle du cylindre.

2° Il s'en suit que le poids de vapeur existant au cylindre au moment de la fermeture de l'admission est moindre que celui qui existe lors de l'ouverture à l'échappement, si l'expansion est considérable.

3° L'inégalité de ces poids de vapeur ne paraît pas être influencée par la vitesse de fonctionnement de l'appareil.

4° L'eau condensée pendant l'admission ne se revaporise pas tout entière pendant la détente; la quantité de vapeur, réellement entrée au cylindre, est donc supérieure à celle que dénote le diagramme d'indicateur.

5° Pour prévenir la condensation à l'intérieur des cylindres, il ne suffit pas de protéger ceux-ci par des matières isolantes, il faut chercher à les maintenir par des moyens *extérieurs* à la température initiale de la vapeur.

6° Les pertes par condensation dans les cylindres extérieurs sont tellement importantes, qu'on doit considérer les introductions inférieures à 30 centièmes de la course comme absolument défavorables à l'économie de vapeur.

On contestait déjà à cette époque l'utilité et l'efficacité de la détente variable, et des ingénieurs distingués considéraient comme suffisants les systèmes de changement de marche à fourchettes, dits *gab-motion*, donnant une détente fixe assez faible; on se rappelle que les machines du type Buddicom ont conservé ce genre de distribution jusqu'à une époque qui n'est pas très-éloignée de nous.

En somme les expériences de Clark étaient fort remarquables, et si on ne peut partager toutes les conclusions de l'auteur anglais, notamment en ce qui concerne l'avantage des cylindres intérieurs, on doit reconnaître qu'il a pour la première fois mis en évidence le mode d'action de la vapeur dans les cylindres des machines locomotives, ainsi que le rôle de la condensation pendant l'admission et son influence sur la consommation des machines.

Vu l'heure avancée, la suite est remise à la prochaine séance.

Digitized by Google

Séance du 19 Janvier 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de MM. Bélanger et Smith.

Il est donné lecture de la Notice qui suit sur Ch. Bélanger :

La Société des Ingénieurs civils vient de perdre un de ses Membres justement regretté par tous ceux qui ont eu le bonheur de le connaître et d'apprécier ses belles qualités.

Charles-Eugène Bélanger, né à Douai le 24 mai 1821, est décédé à Pau le 14 janvier 1877. Élevé sous la direction de son oncle, le célèbre professeur de mécanique, il avait été initié à cette science avant même d'entrer à l'École Centrale, où il compléta brillamment son éducation scientifique, et de laquelle il sortit avec distinction. L'étendue de ses connaissances lui a permis de s'occuper avec succès de travaux très-divers. C'est ainsi qu'il construisit les usines à gaz de Soissons, d'Épernay et de Bar-le-Duc; qu'il exploita des carrières importantes; qu'il put être répétiteur du Cours de mécanique professé par son oncle à l'École Centrale; qu'il fut ingénieur d'un grand atelier de construction mécanique à Vieux-Condé; qu'il créa une fabrique et imagina des procédés nouveaux pour la fabrication de la chicorée; enfin, qu'il dirigea pendant onze ans la Compagnie du gaz de Madrid.

Obligé de rentrer en France, à cause de sa santé, que le climat d'Espagne avait altérée, il recommença bientôt sa vie active, et fut nommé ingénieur-arbitre au Tribunal de commerce de la Seine; mais il fut repris bientôt et emporté par la maladie qu'on avait crue conjurée.

Charles Bélanger était chevalier de l'Ordre de Charles III, et commandeur de l'Ordre d'Isabelle d'Espagne.

La parole est donnée à M. Régnard, pour une communication sur la présence de l'ammoniaque libre dans l'acier.

M. RÉGNARD. Les comptes rendus de l'Académie des Sciences (décembre 1876) contiennent une lettre de M. Barré, ingénieur français, directeur des mines, usines et domaines de la Compagnie des chemins de fer autrichiens, ayant trait à la présence de l'ammoniaque libre dans l'acier, lettre communiquée par M. Daubrée à l'Académie.

Digitized by Google

Ayant eu moi-même l'occasion de faire des observations sur un fait analogue, au mois de juillet 1875, il m'a semblé intéressant d'attirer sur ce phénomène l'attention des chimistes et des métallurgistes éminents que la Société des Ingénieurs civils compte parmi ses Membres.

L'usine où furent observés les faits qui vont être relatés était une fonderie d'acier des environs de Paris, fabriquant spécialement des pièces de moulage, généralement au creuset. Il y avait, en outre, un four à fabriquer l'acier sur sole, du système Ponsard, et c'est dans un grand nombre des lingots obtenus dans les coulées de ce four que j'observai avec surprise l'existence de l'ammoniaque libre. Voici dans quelles circonstances : On cassait, pour les charger dans les creusets, des lingots obtenus au four Ponsard, et mesurant environ 8 centimètres de côté, lorsqu'en examinant de près la cassure d'un lingot fraîchement brisé, je fus frappé par une odeur prononcée d'ammoniaque. Je fis immédiatement briser plusieurs lingots, et le phénomène se reproduisit, sinon sur tous, du moins sur un grand nombre. L'odeur caractéristique et fortement accusée de l'ammoniaque, était accompagnée d'un bruissement particulier très-perceptible en appliquant l'oreille contre le lingot. Attribuant ce bruit à un dégagement de gaz, je fis préparer de l'eau de savon pour en arroser les cassures. Il se produisit alors une mousse, réunion de milliers de bulles microscopiques, dont le volume total dépassait quelquefois un centimètre cube. Je rendis témoins de ce phénomène plusieurs personnes, entre autres le colonel de Reffye, M. de Beauchamp, MM. Troost et Hautefeuille. Je renouvelai l'expérience un très-grand nombre de fois, disposant d'un nombre considérable de lingots provenant de près de cent coulées destinées à la refonte, et je pus observer les faits suivants :

Le dégagement de gaz et l'odeur ammoniacale coexistaient et semblaient en rapport direct l'un avec l'autre comme intensité;

Les aciers soufleux et généralement doux n'en ont jamais accusé trace;

L'apparence de la cassure des lingots qui donnaient lieu au dégagement était toujours la même, cristalline, et variant un peu de la périphérie au centre;

Les lingots d'une même coulée se comportaient, non pas toujours, mais très-généralement de même;

Soumis à un recuit préalable, les lingots n'ont jamais accusé aucun dégagement, lorsqu'on venait à les briser.

C'est généralement au centre même, comme il était facile de le mettre en évidence en plaçant sous l'eau les cassures fraîches, que se produisait le dégagement des bulles gazeuses.

La pensée me vint alors d'analyser ce gaz, et j'en recueillis, dans des éprouvettes, en quelques jours d'expériences sur plus de cent cassures, assez pour faire l'essai avec exactitude. Le gaz brûlait, avec une flamme à peine visible, et détonait fortement, s'il était mélangé d'air. D'une analyse que je fis faire, il résulta que c'était de l'hydrogène presque pur, contenant peut-

Digitized by Google

être quelques traces d'acétylène. Faut-il en conclure que de l'hydrogène et de l'azote, dissous dans le métal liquide, et ne pouvant se dégager, à cause du refroidissement brusque causé par les lingotières, s'unissaient pour former le radical ammonium Az H⁴ allié au fer, ou que, combiné à du carbone, l'azote formait au sein de la masse des cyanures qui se détruisaient ultérieurement ? Je crois qu'il est difficile de se prononcer à cet égard; j'avais l'intention de faire, à la suite de ces observations, quelques autres recherches sur ces faits et les conclusions auxquelles ils pourraient, peut-être, conduire en théorie ou en pratique, lorsque diverses causes indépendantes de ma volonté vinrent donner à mes études une direction différente. Je livre donc ces faits à nos collègues, afin que ceux que leur position et leurs connaissances mettent à même de les observer, en fassent tel usage que bon leur semblera, me mettant d'ailleurs entièrement à leur disposition pour compléter les renseignements contenus dans cet exposé sommaire.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

M. Mallet a la parole pour la suite de sa communication sur l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives:

Peu de temps après les expériences de Clark, notre éminent et regretté collègue et ancien président Polonceau fit des essais à l'indicateur sur cinq machines du Chemin de fer d'Orléans, en se proposant, outre l'étude générale du fonctionnement de la vapeur, d'examiner, d'une part, l'effet d'une distribution à tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement, et de l'autre, l'influence de l'enveloppe de vapeur autour des cylindres. Ces deux derniers points seront traités plus loin; il suffit de dire que les résultats généraux de ces expériences relatées seulement dans un Mémoire autographié qui n'a reçu qu'une publicité restreinte, s'accordent d'une manière satisfaisante avec ceux dont il a été déjà question. Si on relève, sur les diagrammes annexés à ce Mémoire, les équivalents d'eau initial et final, on trouve que leur différence augmente avec l'expansion à partir d'une certaine valeur de cette dernière, et que la loi de cette variation est généralement représentée par une droite, à peu près comme dans les expériences déjà mentionnées.

Il n'a pas été fait dans ces essais de constatations directes du poids d'eau dépensé.

Les expériences célèbres des ingénieurs de l'Est, consignées dans les Mémoires et Comptes rendus de la Société, ne donnent que peu de renseignements au sujet du travail de la vapeur dans les cylindres. Le poids d'eau dépensé avait bien été constaté directement, mais, en l'absence de diagrammes d'indicateur, les auteurs avaient cru pouvoir prendre, comme point de départ, le poids apparent de vapeur au cylindre et, tombant dès lors dans la même erreur que Pambour, ils avaient attribué la différence, entre le poids de vapeur calculé et le poids d'eau réellement dépensé, à la proportion d'eau entraînée mécaniquement; cette proportion s'élevait de 31 à 39 p. 100; une correction basée sur les motifs que nous avons indi-

Digitized by Google

qués plus haut à propos des expériences de Pambour, porterait la différence réelle de 45 à 50 p. 100 au moins, soit à un taux trop élevé pour pouvoir être attribuée seulement à l'entraînement d'eau et aux pertes de l'ordre ordinaire.

M. Mallet a examiné avec soin les chiffres contenus dans les tableaux annexés au Mémoire et desquels on peut déduire la dépense mesurée d'eau par cheval et par heure, et il a trouvé que, dans presque tous les cas, à vitesse égale, la plus forte consommation d'eau par unité de puissance correspondait au plus faible travail développé. Il croit donc qu'au moins dans leur ensemble, ces résultats s'accordent avec tous ceux des expériences qui sont mentionnées ici.

En 1860, un ingénieur autrichien, M. V. Grimburg, fit à Témesvar des expériences sur la machine *Léopoldstadt*, dans des conditions particulières, qu'il est utile de signaler. La machine était calée sur des chantiers; le travail développé pour les roues motrices était absorbé par le frottement de freins convenablement disposés, et le travail produit sur les pistons était mesuré à l'indicateur. On s'était proposé de mesurer le travail net à la jante des roues en évaluant la charge sur les sabots comme avec le frein de Prony, mais on n'a pas pu y réussir; il n'en reste pas moins une méthode de mesurer le travail et la dépense d'une machine indépendamment des variations introduites par sa marche sur les rails, méthode qu'on peut assimiler à une double pesée, et qui, si elle n'a pas donné de résultats bien nets dans les expériences un peu incomplètes de M. Grimburg, ne semble pas moins de nature à donner des résultats importants, si elle était appliquée de nouveau dans de meilleures conditions.

En 1867, le professeur Bauschinger, de Munich, a fait des expériences fort complètes sur huit machines du Chemin de fer de l'État bavarois : les expériences avaient lieu à l'aide de l'indicateur et avec mesurage direct de l'eau dépensée.

Quatre des machines étaient à distribution simple par la coulisse de Stephenson, et quatre étaient munies de détente à doubles tiroirs du système Meyer.

M. Bauschinger a relevé un nombre considérable de diagrammes et a constaté sur chacun le poids de vapeur dépensé pour l'unité de puissance sur le piston, poids mesuré au commencement de la détente et à la fin de celle-ci, défalcation faite du poids de vapeur existant dans le cylindre au commencement de la compression.

Ces chiffres rapprochés des dépenses réelles d'eau par cheval donnent des indications du plus haut intérêt, qu'il est malheureusement impossible de reproduire dans un résumé aussi sommaire.

On a constaté l'augmentation considérable de la différence des équivalents d'eau initial et final avec la détente; pour montrer combien le rapport des pressions s'écarte par cette cause de celui qu'on est généralement porté à admettre, le rapport inverse des volumes, il suffira de donner le tableau ci-dessous.

Digitized by Google

CRAN DU SECTEUR de détente.	RAPPORT des volumes initial et final.	RAPPORT des pressions finale et initiale.	RAPPORT des précédents.
1	0.26	0.42	1.61
2	0.33	0.46	1.39
3	0.40	0.52	1.30
4	0.52	0.57	1.10
5	0.59	0.62	1.05

On reviendra plus loin sur les expériences de Bauschinger, qui semblent être jusqu'ici les plus complètes qui aient été faites sur les machines locomotives au point de vue du travail de la vapeur.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire des essais à l'indicateur faits aux États-Unis sur le Chemin de fer de l'Érié, et rapportés par M. F. J. Slade, les résultats généraux, quant à la variation des équivalents d'eau avec la détente, concordant avec tous les précédents.

M. Mallet se propose de tirer de l'étude des diverses expériences qui viennent d'être passées en revue des indications précises sur le mode réel d'action de la vapeur dans les cylindres des machines locomotives.

Combes et Thomas avaient constaté, comme on l'a vu, que les diagrammes indiquaient dans les machines détendant notablement sans enveloppe plus de vapeur à la fin de la détente qu'au commencement. M. Mallet ayant constaté cette différence, portée à un degré extravagant, sur une machine où l'expansion allait jusqu'à 14 volumes dans des conditions particulièrement favorables à la condensation intérieure, a cherché à rendre cette augmentation du poids de la vapeur contenue au cylindre plus palpable que sur les diagrammes ordinaires d'indicateur. Dans ce but, il a calculé pour chaque dixième de la course du piston le volume occupé par la vapeur, volume composé du dixième de la capacité engendrée par le déplacement du piston et de l'espace neutre; puis, en prenant la pression de la vapeur à chaque dixième de la course sur le diagramme d'indicateur, et en multipliant le volume obtenu par le poids spécifique de la vapeur saturée à la dite pression, il a obtenu le poids de vapeur contenu au cylindre à chaque position du piston; si on porte ensuite ces poids en ordonnées sur une ligne divisée en dix parties, comme la course du piston, en joignant les sommets des ordonnées par un trait continu et en faisant la même opération pour la course de retour, on aura un diagramme qui représentera la variation du poids de vapeur contenu au cylindre et qu'on peut désigner sous le nom de *diagramme des poids ou quantités de vapeur* par opposition au *diagramme des pressions*.

Ce diagramme des poids, qui constitue une véritable balance, est d'un grand secours pour l'appréciation de ce qui se passe dans le cylindre pendant les quatre phases qui constituent le cycle représentatif du travail de

Digitized by Google

la machine à vapeur : l'admission, l'expansion, l'échappement, et la compression.

Si on construit ce diagramme pour la machine dont il vient d'être question, on constatera qu'il existe au cylindre à la fin de la détente *cinq fois* autant de vapeur qu'il y en avait au moment de la fermeture de la lumière d'admission.

Cette quantité de vapeur ne peut provenir que de la vaporisation, pendant la détente, de l'eau condensée sur les parois du cylindre durant la période d'admission. En effet, d'une part, on s'était assuré de l'étanchéité du piston et du tiroir, et, en second lieu, il n'est pas possible d'attribuer l'augmentation du poids de vapeur à la vaporisation de l'eau entraînée mécaniquement avec la vapeur, car un calcul très-simple indique que, pour une différence de température de 170°,81 (8 atmosphères), et 120°,60 (2 atmosphères), une proportion d'eau de 30 p. 100 entraînée ne pourrait fournir à la vapeur qu'un supplément de 4,3 p. 100, alors que dans le cas actuel il faudrait 400 p. 100.

On a émis des doutes sur la possibilité d'une action aussi complète et aussi énergique des parois du cylindre dans un intervalle de temps qui, pour une locomotive, peut arriver à être inférieur à *un dixième de seconde;* mais on le comprendra, si on réfléchit que la plus légère condensation ou évaporation qui se produit dans un point d'une masse de vapeur saturée détermine un changement de pression instantané dans toute la masse; l'effet du condenseur n'est pas fondé sur autre chose.

Si on construit le diagramme des poids pour des introductions différentes, on remarquera que, avec des détentes peu prolongées, dès la fermeture de l'admission, le poids de vapeur présent au cylindre diminue légèrement jusqu'à l'ouverture à l'échappement, ce qui indique qu'il se produit une condensation. Si, au contraire, la détente est très-prolongée, le poids de vapeur qui a également diminué un peu à partir de la fermeture, devient bientôt stationnaire, puis remonte rapidement jusqu'à l'ouververture à l'échappement, ce qui indique une revaporisation; il y a là une confirmation des faits constatés par Gooch et Clark, que la différence entre les équivalents d'eau final et initial est négative ou positive, selon que l'expansion est faible ou considérable; si même la détente est très-prolongée, on voit que l'augmentation de poids survit à l'ouverture à l'échappement, de sorte que la quantité de vapeur qui se produit jointe à celle qui existait déjà dépasse celle qui peut sortir du cylindre dans les premiers moments de l'échappement.

M. Mallet a représenté sur le tableau un certain nombre de diagrammes correspondant à des expansions différentes et qui indiquent clairement les phénomènes ci-dessus.

On s'est beaucoup préoccupé de formuler des lois pour la détente de la vapeur dans les machines. En ce qui concerne les machines locomotives, on peut dire que, dès que l'expansion est un peu considérable, il n'y a pas de loi de détente admissible; en effet, l'expression même de loi de

Digitized by Google

détente s'applique à la manière dont se comporte une quantité définie de vapeur en présence d'un accroissement du volume qu'elle occupe ; or, dans le cas actuel, il ne s'agit pas d'une quantité définie, mais d'une quantité qui augmente à mesure que le volume augmente lui-même.

C'est ainsi que la courbe de détente pratique, qui ne représente pas une loi, est *au-dessus* de toutes les courbes figuratives des lois de détente, y compris la courbe de Mariotte, toutes les fois que l'expansion est un peu considérable.

Ce qui a été dit plus haut de l'action si énergique des parois du cylindre et du piston fait comprendre combien sont peu applicables dans les machines des lois qui supposent essentiellement que ces parois sont imperméables au calorique.

La nouvelle vapeur qui se forme pendant la détente, au moyen de l'eau condensée pendant l'admission et aux dépens de la chaleur des parois du cylindre et du piston, n'a qu'un effet utile assez faible, mais du moins elle a un effet utile, tandis que celle qui se forme encore pendant la période d'échappement n'en a aucun : elle ne fait que gêner l'échappement en produisant une augmentation de la contre-pression.

On a expliqué plus haut que la condensation pendant l'admission, qui est la cause de la perte considérable de chaleur qu'éprouvent les machines détendant notablement sans enveloppe de vapeur, dépendait essentiellement de la différence des températures correspondant à la pression de la chaudière et à la pression de l'échappement; il semble donc que la perte ci-dessus n'est pas influencée par le plus ou moins d'expansion à laquelle fonctionne la machine.

C'est vrai comme perte absolue, mais il est facile de voir que la perte relative est d'autant plus grande que la machine détend davantage.

Supposons, en effet, que, pour un cylindre de dimensions données et une certaine différence des températures extrêmes, la perte de vapeur par condensation soit de 10 grammes par coup de piston, si le cylindre, marchant à pleine admission, dépense 100 grammes, la perte sera de 10 p. 100; si, au contraire, le cylindre ne reçoit la vapeur que pendant un cinquième de la course, la dépense sera de 20 grammes, et la perte de 50 p. 100.

Le diagramme des poids donne également des indications précieuses sur ce qui se passe pendant la compression. Dans les compressions peu prolongées, le poids de vapeur ne varie pas sensiblement, mais lorsque la compression est considérable et que par conséquent la détente a été prolongée, s'il y a encore de l'eau avec la vapeur, la chaleur développée par la compression vaporise cette eau et le poids augmente ; puis ensuite, la vapeur, devenant plus chaude que les parois du cylindre, se condense sur elles et le poids diminue jusqu'à la fin de la course. Pour ces raisons, la loi de Mariotte n'est pas plus applicable à la compression, du moins en général, qu'elle ne l'est à la détente.

La compression a l'avantage de diminuer la dépense de vapeur dans une porportion assez notable; elle développe, en outre, une certaine quantité de

Digitized by Google

chaleur. Certaines personnes ont émis l'opinion que cette chaleur était assez considérable pour empêcher la condensation pendant l'admission; un calcul très-simple indique qu'elle ne peut compenser que 10 à 12 p. 100 de la perte correspondante à cette condensation. Enfin, elle a d'importants avantages dans l'ordre mécanique, en ce qu'elle empêche les chocs des organes lors des renversements de mouvement à chaque fin de course; on doit donc la considérer comme indispensable dans les machines à allure rapide. En revanche, la compression donne lieu à un travail résistant qui peut atteindre une valeur très-considérable, 25 p. 100 dans certains cas, du travail total; mais comme en somme, l'économie de vapeur qui en résulte est à peu près dans la même proportion, les avantages de l'ordre mécanique restent nets. Il y a seulement diminution *absolue* du travail développé, mais comme ces grandes compressions correspondent à de grandes détentes auxquelles on n'a recours que lorsqu'on n'a pas besoin d'un travail considérable, cette réduction n'a aucun inconvénient.

M. Mallet croit avoir bien fait comprendre la manière dont la vapeur se comporte dans les cylindres des locomotives. Les phénomènes qui se produisent dans les expansions notables, sont tellement nets, qu'on a pu les définir d'une manière à la fois précise et concise, en disant que le cylindre se comporte dans ce cas, *comme un condenseur* pendant l'admission, et *comme une chaudière* pendant la détente et l'échappement.

C'est ici le lieu de dire quelques mots de la dépense de vapeur des machines locomotives pour l'unité de puissance, dépense que les uns considèrent comme très-élevée, les autres, au contraire, comme très-modérée.

Une machine à vapeur sans condensation *parfaite*, c'est-à-dire, à détente et compression *complètes*, dépenserait pour une pression initiale de 8 atmosphères $8^k,22$ de vapeur par cheval brut et par heure, et pour 10 atmosphères, $7^k,51$.

Les expériences directes de M. Bauschinger ont donné des consommations variant de $11^k,82$ à 16 kilogrammes par cheval brut, la moyenne d'un grand nombre d'expériences étant de 14 kilogrammes, ce qui correspondrait à peu près à $14 \times 1,17 = 16^k,38$ par cheval net, soit une dépense de combustible de 2 kilogrammes à $2^k,50$ suivant le taux de la vaporisation.

Les expériences de l'Est coïncident dans beaucoup de cas avec le chiffre moyen de $16^k,38$, bien que, dans d'autres, elles s'en écartent notablement, soit en dessous, soit surtout en dessus, montant parfois à 25 et même à 29 kilogrammes, ce qui doit tenir à des conditions exceptionnelles de fonctionnement, probablement des expansions exagérées.

Si nous appelons P le poids de vapeur par cheval et par heure *mesuré* directement, p le poids calculé sur le diagramme à la fin de la détente et p' le poids calculé sur le diagramme au commencement de la détente, on a toujours $P > p$ et $P > p'$, tandis qu'on a $p > p'$ ou $p < p'$ suivant le taux de l'expansion.

Digitized by Google

Si donc on connaissait les coefficients $\frac{P}{p}$ et $\frac{P}{p'}$ on pourrait, sans opérer de mesures directes qui sont toujours assez difficiles, déduire P de p ou p'.

Il serait à désirer que des expériences répétées donnassent des indications assez précises sur ces coefficients K et K'. Néanmoins, on peut, des résultats obtenus par M. Bauschinger, tirer des valeurs qui peuvent être utilement employées dans le calcul des locomotives. On trouve ainsi que pour des expansions variant de 1.92 à 3.17, la valeur de K a varié de 1.148 à 1.541 et celle de K' de 1.322 à 3.337.

M. Mallet a représenté la variation de ces coefficients par rapport à l'expansion par des tracés graphiques.

Il est bon d'être prévenu que pour des machines fonctionnant avec des détentes prolongées, par suite de la surélévation de la courbe de détente, le poids de vapeur évalué sur le diagramme au commencement de la détente ressort en apparence à un taux extrêmement réduit, même très-au-dessous de ce qu'exigerait la théorie; ainsi on trouve des diagrammes où ce chiffre ne correspond qu'à 3 kilogrammes environ par cheval brut et par heure. Il est vrai que dans ce cas le coefficient K' qui permet de revenir à la réalité atteindrait des valeurs énormes, puisque $\frac{p}{p'}$ arrive à 3 ou 4. On voit quelle erreur on commettrait en prenant pour dépense réelle, même approximative, cette dépense apparente calculée d'après le volume du cylindre, la pression, la vitesse et l'introduction observées.

Le tableau ci-dessous, extrait des expériences de M. Bauschinger, montre d'une manière très-frappante la différence des résultats auxquels conduit la mesure des poids de vapeur au commencement et à la fin de la détente p' et p, suivant que celle-ci est plus ou moins prolongée.

ADMISSION en centièmes de la COURSE.	TRAVAIL BRUT PAR KILOGRAMME DE VAPEUR. Mesuré sur les diagrammes.		DÉPENSE DE VAPEUR PAR CHEVAL BRUT. Mesurée sur les diagrammes.	
	Au commencement de la détente.	A la fin de la détente.	Au commencement de la détente.	A la fin de la détente.
	kgm.	kgm.	k.	k.
0,20	86100	26700	3.14	10.11
0,34	40800	26400	6.62	10.23
0,46	29200	24900	9.24	10.84
0,54	26400	23700	10.23	11.39
0,59	24600	22200	11.00	12.16
0,75	19500	19000	13.85	14.21
0,79	16800	16800	16.00	16.00

M. Mallet terminera sa communication par l'exposé sommaire des moyens qui ont été proposés pour améliorer l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives.

Digitized by Google

Ces moyens appartiennent à deux classes distinctes, selon qu'ils s'attaquent à des inconvénients de l'ordre mécanique, ou de l'ordre physique.

1re *Classe.* On ne trouve dans cette classe que l'emploi des systèmes de distribution spéciaux, reposant sur cette idée générale de ne modifier que l'introduction de la vapeur sans toucher aux autres phases de la distribution; on avait surtout en vue la réduction de la compression à laquelle on attachait à tort une influence très-nuisible. De plus on se proposait de pousser les expansions réalisables beaucoup plus loin qu'avec la distribution par coulisse simple, qui limite beaucoup les détentes; en effet, si on réduit l'introduction, on avance en même temps l'échappement, et comme on ne peut supprimer l'espace neutre, il arrive un moment ou l'expansion ne peut plus augmenter, la limite est vers 3,5 à 4 volumes suivant les systèmes de coulisses.

Aucun des nombreux systèmes de distributions à doubles tiroirs qui ont été essayés n'a réussi à se maintenir en pratique; l'entretien en est difficile, et leur emploi n'empêche nullement les pertes de l'ordre physique qui sont les plus importantes.

En Allemagne la détente Meyer a subsisté sur certaines machines jusqu'à ces derniers temps.

Les expériences de M. Bauschinger ont démontré que les machines de ce système qu'il a expérimentées dépensaient plus que les autres.

M. Heusinger de Waldeg, dans la dernière édition de son grand ouvrage, *Handbuch für Spécielle Eisenbahn Technik*, ne consacre à ce sujet que la phrase caractéristique qui suit :

« La conférence de l'Union des Chemins de fer allemands recommande « l'emploi de systèmes de distributions simples; en conséquence, il n'y a « pas lieu de s'occuper des distributions à double tiroir. »

2me *Classe.* Les moyens de l'ordre physique pour améliorer l'utilisation de la vapeur dans les locomotives sont la surchauffe, les enveloppes de vapeur aux cylindres, et la détente en cylindres séparés.

1° Surchauffe. — En surchauffant la vapeur, on se propose de prévenir la condensation au cylindre par un rechauffage des parois qui ne nécessite pas une liquéfaction de vapeur donnant ultérieurement lieu à une revaporisation et par suite à une absorption de chaleur, ce rechauffage étant produit par l'abandon du calorique que la vapeur peut posséder en dessus de son point de saturation.

Il sera toujours très-difficile de surchauffer la vapeur dans les locomotives, parce qu'il faut d'abord la sécher, vu la forte proportion d'eau qu'elle entraîne; en outre, la chaleur de surchauffe qu'on peut donner à la vapeur sans atteindre des températures nuisibles est très-modérée; en surchauffant à 225° de la vapeur à 10 atmosphères, on ne lui ajouterait guère que la chaleur susceptible de vaporiser 4,5 p. 100 de son poids; on voit que c'est insignifiant pour prévenir les condensations.

Digitized by Google

2° Enveloppes de vapeur aux cylindres. — Avec les enveloppes de vapeur on a pour but également de prévenir les condensations en chauffant les parois sans déterminer un dépôt d'eau liquide qui se revaporise plus tard, et pour cela on fait opérer ce dépôt d'eau hors du cylindre; seulement il faut que la chaleur se transmette *de dehors en dedans* à travers une paroi métallique d'une assez grande épaisseur.

Cette chaleur ne se transmet pas instantanément; il en résulte qu'un cylindre de dimensions données, pour une certaine différence entre la température de la vapeur de l'enveloppe, soit sensiblement celle de la chaudière, et la température moyenne de la vapeur dans le cylindre ne pourra transmettre en une heure qu'une certaine quantité de calories, lesquelles, réduites en travail, représenteront un certain nombre de kilogrammètres. Or le travail développé dans le cylindre dépendra de la vitesse du piston; si celle-ci est faible, l'effet de l'enveloppe pourra être considérable, si au contraire, la vitesse du piston est grande, l'effet de l'enveloppe sera minime; il semble que dans les locomotives, le travail développé, au moins en général, dans les cylindres, est assez considérable pour que les enveloppes de vapeur ne puissent y apporter qu'un appoint insignifiant.

Les enveloppes ont été essayées au Chemin de fer d'Orléans par Polonceau, et, plus récemment, sur le Grand Central Belge, par notre collègue M. Maurice Urban; dans l'un et l'autre cas les résultats ont été nuls. Il est cependant utile de dire que ces essais n'ont pas été faits dans les meilleures conditions; la circulation de la vapeur devait y être mal assurée. Or un point essentiel est d'empêcher la stagnation de la vapeur dans les enveloppes, dont alors l'efficacité est extrêmement réduite, comme cela a été constaté dans d'autres types de machines; de plus, on avait négligé de remplir de vapeur les fonds de cylindres et les pistons. On comprend qu'au commencement de la course, la vapeur, arrivant en couche mince entre deux surfaces relativement froides séparées de quelques millimètres, se condensait tout comme si la surface cylindrique n'avait pas été enveloppée. Il semble donc qu'on ne peut pas condamner définitivement les enveloppes sur le seul vu de ces expériences, bien que la théorie semble leur être peu favorable dans les cas des machines locomotives.

3° Détente en cylindres séparés. — Ce mode de fonctionnement, qu'on désigne généralement sous le nom de *système Compound*, faute d'un équivalent précis en français, est caractérisé par l'action successive de la même vapeur dans deux cylindres de diamètres différents. C'est probablement le système qui a, bien à tort d'ailleurs, soulevé le plus d'appréhensions lorsqu'on l'a proposé pour les machines locomotives, auxquelles il convient cependant si bien, et cela soit parce que son emploi était, dans l'esprit de bien des gens, inséparable de l'idée de complication, soit surtout, parce que les avantages qu'il réalise ne sont pas de ceux qui sautent aux yeux, sans une étude approfondie du mode d'action de la vapeur dans les machines.

Digitized by Google

D'après ce qui précède, il est facile de comprendre que, l'expansion totale se faisant dans deux cylindres, la détente est réduite dans chacun, ainsi que les différences de température; dès lors, la perte de vapeur par condensations intérieures est considérablement atténuée, et en outre, la perte qui résulte de cette condensation n'est que partielle, car si elle a lieu au grand cylindre, la vapeur qui s'y condense n'en a pas moins travaillé au petit, de même que la revaporisation qui peut avoir lieu pendant l'échappement au petit cylindre n'est pas sans effet, puisque la vapeur qui en provient va travailler sur le grand piston.

De plus, on peut réaliser des expansions considérables sans réduire beaucoup les admissions; ainsi, avec une admission de moitié au premier cylindre, et un rapport de 3 entre les sections des pistons, on réalisera une expansion totale de près de 6 volumes, soit une fois et demi celle qu'on pourrait obtenir dans le système ordinaire avec l'introduction la plus réduite.

On réalise enfin des avantages d'un autre ordre par la plus grande régularité des efforts sur les pistons et les mécanismes et la possibilité de donner une grande élasticité de puissance à l'appareil, en faisant au besoin travailler tous les cylindres à la manière ordinaire.

Le système Compound peut être appliqué aux locomotives sous la forme 1° de quatre cylindres, dont deux admetteurs et deux détendeurs avec quatre mécanismes distincts, ou seulement deux mécanismes; 2° de trois cylindres, dont un central admetteur et deux latéraux détendeurs, ces trois cylindres actionnant chacun une manivelle, et les trois manivelles étant généralement, mais non nécessairement, à 120° les unes des autres; 3° de deux cylindres, un admetteur et un détendeur, actionnant des manivelles à angle droit, avec réservoir intermédiaire et tiroir spécial de démarrage, permettant de faire à volonté fonctionner les deux cylindres à la manière ordinaire. Ce dernier système est le seul qui ait été appliqué jusqu'ici aux locomotives de chemins de fer.

On a objecté la perte occasionnée, disait-on, par la présence du réservoir intermédiaire. M. Mallet montre, par la comparaison des diagrammes, que les pertes *apparentes* dans ce système sont moindres que celles qu'entraîne l'usage des distributions ordinaires pour les grandes détentes. Quant à l'inégalité d'efforts sur les pistons qui devait produire une fâcheuse influence sur l'allure de la machine, l'expérience a prononcé à ce sujet; plusieurs membres de la Société ont pu constater tout récemment que, même à une assez grande vitesse, la marche de la machine était aussi régulière que celle d'une machine ordinaire. Cet arrangement conserve donc bien net l'avantage d'une simplicité absolue, et il semble que son emploi ne sera limité que par les dimensions maxima à donner au grand cylindre.

M. Mallet se bornera sur ce sujet à l'exposé sommaire qui précède; il a dû se maintenir sur le terrain de la théorie et des généralités, en attendant le moment prochain où il lui sera possible de présenter des chiffres et des

Digitized by Google

conclusions appuyés sur une expérimentation sérieuse et prolongée; il sera alors heureux de ramener cette question devant la Société.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Mallet de sa communication très-importante et très-savante. En raison de la nature de ce travail, la discussion en est remise à la prochaine Séance.

M. LOCKERT présente sa communication sur la fabrication mécanique des fers à cheval.

Ce n'est que depuis peu de temps que l'on a pu, sinon préciser, du moins établir avec une appréciation satisfaisante les origines de la ferrure. Monsieur Henry Bouley, de l'Institut, a réussi à éclaircir cette question historique. Les Troyens, les Grecs et les Romains ignoraient absolument la fabrication et l'emploi du fer à cheval. Tout au plus, les derniers attachaient-ils aux pieds des bêtes de somme des sortes de sandales métalliques, qu'il suffit de regarder (car on en possède des spécimens) pour se persuader qu'elles n'ont jamais pu chausser un animal devant tenir une allure rapide.

C'est aux Gaulois que l'on doit l'invention de la ferrure, et elle est née sur le sol même de la Gaule. La fabrication de ces fers, comme du reste tout ce qui concernait la métallurgie du fer, était réservée aux druides. Les musées de Besançon, de Troyes et de Nantes et le musée de Cluny à Paris, possèdent de nombreux spécimens de fers gaulois; ils sont ondulés sur les bords, avec six étampures et portaient des clous à tête ovale.

De toutes façons, l'on ne peut qu'admirer la perfection à laquelle étaient parvenus les forgerons sacrés de la Gaule, dès le VIe siècle avant Jésus-Christ. Cela étant, il pourrait être permis de s'étonner que la ferrure du cheval ait fait si peu de progrès depuis vingt-cinq siècles, si l'on ne savait que cette industrie est une de celles qui sont, jusqu'à ces derniers temps, restées absolument locales et manuelles. A aucune époque elle ne se concentra pour donner naissance à des manufactures, elle est restée tout individuelle, chaque maréchal forgeant lui-même les fers nécessaires à sa consommation.

Il est naturel de penser que le type de fer qui est aujourd'hui employé en France puisse être heureusement modifié. De nombreuses tentatives ont, en effet, été faites, surtout pour empêcher les chevaux de glisser sur le pavé. Parmi les nouveaux types ainsi imaginés, le plus remarquable était, sans contredit, celui de M. Thuillard; d'ailleurs il faut constater que bien que le fer à cheval soit enfin devenu la proie des industries mécaniques, les fers fabriqués à la machine n'étaient pas jusqu'à ces temps derniers comparables à ceux fabriqués à la main.

M. LOCKERT examine les derniers systèmes de machines qui ont été brevetés dans ces dernières années pour la fabrication du fer à cheval, et passe en revue les différents ateliers qui ont été installés tant en France qu'à l'étranger avec ces machines.

Il en fait ressortir les inconvénients et les imperfections, et il décrit l'ou-

Digitized by Google

tillage de la dernière usine créée, aux forges de l'Espérance à Louvroil, près Maubeuge, qui lui paraît donner les résultats les plus satisfaisants, et pour ainsi dire, la perfection.

Cet outillage installé par MM. Thuillard et Victor Dumont, comprend :

1° Un laminoir déformateur à 4 axes,
2° Une cintreuse à galets et coquilles,
3° Un pilon à étamper,
4° Un pilon à parer,
5° Une poinçonneuse double.

Les plus grands détails sur tous ces points, ainsi que la description succincte des machines, existent dans le numéro 51 du 23 décembre 1876, du journal *le Technologiste* (2e série, t. XXXVII).

M. Lockert insiste sur l'étude qui a été faite de la déformation et de l'usure que les fers subissent par la marche du cheval à ses différentes allures, pour arriver à bien chausser le cheval et pour rendre le fer le plus léger possible.

Il donne quelques renseignements sur l'importance de la fabrication de l'usine de Louvroil, qui peut atteindre pour chaque outillage complet et par journée de 10 heures une production de 3.000 fers avec huit ouvriers seulement. Comme il y a quatre outillages et qu'on peut travailler de jour et de nuit, la production peut être de 24.000 fers par jour, avec 64 ouvriers, ce qui correspond au travail de huit cents maréchaux forgeant à la main. Ces avantages ne sont pas réalisés aux dépens de la qualité, au contraire, les fers ainsi obtenus ne le cèdent à aucuns autres, ni au point de vue de l'usage, ni à celui de la netteté des formes.

Le fer en barres, fabriqué avec de vieilles ferrailles, est déjà très-pur : il est ensuite, au courant de la fabrication, frappé par les coquilles de la cintreuse, et battu au pilon six fois de suite, ce qui lui communique les qualités des meilleurs fers à nerf.

Il n'en est pas ainsi dans les autres usines. Dans la plupart d'entre elles le fer n'est pas forgé : il est étampé à la presse, au moyen d'un engin analogue aux presses monétaires du système Thonnellier. Or, rien n'est plus contraire aux nécessités du travail du fer à chaud, que l'emploi d'un pareil moyen. Cette machine a été conçue, étudiée et construite par un ingénieur de talent pour façonner des métaux à froid, et c'est une idée peu sensée que de la vouloir appliquer à étamper du fer rouge.

Quant aux procédés mixtes de fabrication par la cintreuse à main du système Badiou, avec étampage à la main, le métal n'y est ni martelé, ni pressé, et le fer, qui est neuf et grenu, s'use très-vite.

Seuls, les fers confectionnés par un maréchal habile, avec des *lopins bourrus*, solidement frappés, pourraient rivaliser, comme qualité, avec ceux de MM. Thuillard et Dumont; mais ils ne sauraient leur être comparés au point de vue du bon marché, et surtout quant à l'exactitude et à la perfection des formes.

Digitized by Google

L'usine de Louvroil peut produire, à des milliers d'exemplaires tous mathématiquement pareils, n'importe quels types de fers qui lui seraient demandés, et cela, avec une ajusture si parfaite qu'ils pourraient, ainsi que cela se pratique en Espagne, servir à ferrer des mulets à froid.

M. Lockert établit enfin que l'on compte en France 3.500.000 chevaux, juments, poulains, ânes et mulets, usant en moyenne 12 ferrures ou 48 fers par an et par bête, ce qui donne une consommation de 160.000.000 fers, et ce qui conduit à l'emploi annuel de plus de 126.000 tonnes de fer, au poids moyen de 750 grammes par fer à cheval.

M. Séverac indique que la fabrication mécanique des fers à cheval est réalisée à Joinville-le-Pont, dans une usine de M. Pilter, qui fabrique par jour 3000 fers avec six ouvriers seulement; les machines installées par M. Bezy ne doivent pas être très-coûteuses, puisqu'on en a vendu dernièrement une série au prix de 25 à 26 000 francs. Cet outillage comprend des étampeuses, cintreuses, deux marteaux-pilons et des meules à émeri.

M. Lockert connaît la fabrication de Joinville-le-Pont. Le prix cité pour les machines par M. Séverac ne peut servir de base, à cause des conditions très-spéciales dans lesquelles s'est faite la vente rappelée.

De plus, le procédé qu'il vient d'exposer produit le double que celui de Joinville, soit 5 à 6,000 fers par vingt-quatre heures, et il a l'avantage de donner des produits entièrement finis sans nécessiter un polissage ultérieur. L'emploi des meules que M. Séverac a remarquées à Joinville prouve, plus clairement que n'importe quels raisonnements, l'imperfection de l'outillage de MM. Pilter et Bezy. La supériorité de la fabrication de MM. Thuillard et Victor Dumont commence d'ailleurs à être connue, et ces industriels viennent récemment de traiter pour l'établissement en Belgique de quatre outillages destinés à alimenter la Belgique, la Hollande et l'Allemagne du Nord.

M. Régnard a vu en Amérique, à l'usine de Cool, une fabrique en pleine activité, qui produit des fers à cheval à peu près parfaits. Il n'y a pas de laminage, mais les machines à étamper et à cintrer présentent des dispositions comparables à celles décrites par M. Lockert.

MM. Arsac, Blot, Brémond, Chevrier, Cochot, Deroualle, Dubois, Gavand, Hovine, Huet, Junien, Pasquier, Peny, V. Lara, et Wilden, ont été reçus comme Membres sociétaires, et MM. Huard, Rondeau et Leverbe, comme Membres associés.

Digitized by Google

Séance du 2 Février 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Alcan, Burel, Delpech, Lepainteur et Welter.

Il est donné lecture du discours prononcé par M. le général Morin, Président honoraire de la Société, sur la tombe de M. Alcan :

« MESSIEURS,

« Le collègue, l'ami que nous accompagnons à sa dernière demeure était un exemple remarquable et bien digne d'être recommandé à l'attention publique, du degré de considération et d'estime, de la position scientifique et industrielle, que, dans notre société moderne si attaquée par ses médiocrités envieuses, un homme de cœur et d'énergie peut acquérir, par la seule puissance du travail.

« Né le 5 mai 1811 à Donnelay (Meurthe).

« Fils d'un simple cultivateur, trop pauvre pour pourvoir aux frais de son éducation, il avait dû embrasser une profession manuelle, celle de relieur. Mais, dans son ardeur précoce pour l'étude, l'apprenti dérobait au sommeil des heures pour le travail, et dès 1827 son assiduité lui avait valu une médaille d'argent, décernée par la Société des Amis du Travail de Nancy.

« Venu à Paris pour exercer sa profession de relieur, il s'y trouvait au moment de la Révolution de 1830, et y fut signalé pour sa conduite à la Commission des récompenses, à laquelle il ne demanda qu'une chose, *le moyen de s'instruire*. Il se chargeait de l'avenir.

« Son vœu fut satisfait; avec l'appui du gouvernement de Juillet et de quelques amis, il put se mettre en état d'être admis à l'École centrale des Arts et Manufactures, d'où il sortit avec l'un des premiers diplômes d'Ingénieur, non sans avoir eu à vaincre, outre les difficultés des études, celles de la vie matérielle auxquelles il sut honorablement satisfaire, en continuant à exercer son métier de relieur.

« Employé d'abord à Louviers, et plus tard à Elbeuf où, désirant faire profiter du fruit de ses études ses plus modestes compagnons de travail, il

Digitized by Google

ouvrit un cours public et gratuit de sciences élémentaires, et manifesta déjà son aptitude à l'enseignement.

C'est dans cette cité manufacturière d'Elbeuf qu'il imagina avec M. E. Peligot, et fit mettre en usage le procédé d'ensimage des laines par l'oléine, et de leur dégraissage par le carbonate de soude : procédé généralement employé aujourd'hui, et pour l'invention duquel le Jury de l'Exposition de 1844 leur décerna la médaille d'or.

« On lui doit aussi de très-ingénieux appareils pour la mesure du tordage des fils et pour le dévidage des cocons.

« En 1845, l'ancien élève boursier de l'École centrale, y rentrait comme professeur de technologie appliquée à la filature et au tissage.

« Ce cours, qu'il a professé jusqu'en 1854, fut pour Alcan l'occasion du plus important peut-être de ses ouvrages, qui parut en 1847, sous le titre d'*Essai sur l'industrie des matières textiles*.

« A la même époque, comme collaborateur du remarquable recueil intitulé *Dictionnaire des arts et manufactures*, publié par M. Laboulaye, il y insérait un article relatif au travail des laines.

« Alcan était l'un des membres les plus distingués de la Société des Ingénieurs civils, dont il eut l'honneur de devenir l'un des Présidents. Il a pris aux travaux si variés et si importants de cette Société une part trop active pour qu'elle n'ait pas tenu à venir ici par ma bouche, en qualité de l'un de ses présidents honoraires, exprimer le souvenir reconnaissant qu'elle conserve de sa collaboration.

« La grande compétence de notre collègue, en tout ce qui concernait les questions relatives à l'industrie des tissus, l'avait naturellement fait appeler à siéger dans le Comité consultatif des Arts et Manufactures, où sa connaissance profonde et son indépendance furent souvent d'un grand secours pour la solution des nombreuses et délicates questions qui s'y traitaient.

« Toujours préoccupé des progrès à réaliser et des moyens de les vulgariser, il ne reculait ni devant de nouvelles études, ni devant les voyages, et, tant que ses forces le lui ont permis, il poursuivait, sous toutes les formes, les améliorations à introduire, non-seulement dans la fabrication, mais encore dans les relations commerciales.

« C'est ainsi qu'il apporta un grand intérêt et le concours de son expérience à l'importante question du numérotage uniforme des fils, dont la solution sera aussi profitable à la régularité de la fabrication des tissus qu'à celle des transactions commerciales.

« Au Congrès international de Bruxelles, réuni pour traiter ce sujet, il fut chargé par le gouvernement français de le représenter. Il y eut la satisfaction de contribuer puissamment à l'adoption de mesures qui, confirmées peu de temps après par un Congrès analogue tenu à Turin, ont introduit dans l'industrie de la filature le numérotage métrique.

« L'art du filateur et celui du tisseur qui, au commencement de ce siècle, n'employaient que les procédés et les appareils les plus simples, ont successivement reçu et reçoivent, on le sait, de jour en jour, les perfection-

Digitized by Google

nements les plus variés. Aux combinaisons si diverses qu'ils opèrent entre la soie, le coton, la laine, le chanvre et le lin, ils sont incessamment conduits à ajouter la recherche des moyens d'utiliser une foule d'autres substances d'apparence filamenteuses plus ou moins susceptibles de remplacer ou d'accompagner les éléments fondamentaux des tissus.

« Mais dans cet art, comme dans tous les autres, l'apparence est souvent trompeuse et il devient parfois impossible de démêler à l'avance la vérité, les chances du succès, de l'erreur et des causes dernières.

« Une étude approfondie de la nature, des propriétés, des conditions d'emploi de ces substances diverses, était devenue indispensable. Pour l'entreprendre et la poursuivre avec succès, le talent et la persévérance d'un homme versé dans la pratique de l'art et possédant les connaissances indispensables étaient difficiles à rencontrer.

« Alcan entreprit cette étude avec un dévouement qui, pendant plus de vingt-cinq ans, ne s'est jamais démenti et qui s'est manifesté jusqu'à son dernier soupir.

« Le premier des ouvrages qu'il publia sur ce sujet, l'*Étude sur les matières textiles*, avait été le fruit de longues recherches poursuivies en France, à l'étranger, dans les usines, aux Expositions industrielles. Il est, et restera pour les filateurs et les tisseurs de tous les pays, le texte où ils puiseront les principes, les règles qui doivent les guider dans leurs recherches et dans leurs tentatives de perfectionnement.

« L'accueil fait par le public industriel à cette première publication et le désir de porter la lumière jusque dans les moindres détails de la fabrication engagèrent notre collègue à en publier successivement divers autres d'un caractère plus technique; c'est ainsi qu'il fit paraître :

« En 1865, le *Traité complet de la filature du coton ;*

« En 1866, le *Traité du travail des laines ;*

« En 1868, les *Études sur les arts textiles à l'Exposition de* 1867 ;

« En 1873, le *Traité sur le travail des laines peignées.*

« Lorsqu'en 1853, la Chambre de commerce de Paris réclama du gouvernement la création au Conservatoire des Arts et Métiers d'un cours de filature et de tissage, Alcan se trouvait naturellement indiqué par la grande notoriété de ses travaux et par sa compétence si bien manifestée par les nombreux rapports qu'il avait faits sur les grandes Expositions dans lesquelles il avait fait partie des jurys.

« Dans l'enseignement auquel il s'est complétement dévoué depuis cette époque, il s'attachait surtout à faire connaître et apprécier à ses nombreux auditeurs, la nature, la structure des matières qu'il s'agissait de mettre en œuvre, leurs qualités, leurs défauts, les conditions de leur emploi, de leurs combinaisons, et ce n'était qu'après avoir établi ces bases fondamentales de l'art du tissage, qu'il passait à l'étude des appareils et des procédés mécaniques, auxquels il fallait avoir recours, pour la confection même des tissus.

« Son exposition claire et lucide, fruit d'une longue étude du sujet, lui

Digitized by Google

permettait de faire comprendre à ses auditeurs les détails les plus minutieux de la fabrication.

« Invariablement dévoué au progrès de l'industrie qui était depuis si longtemps l'objet de ses recherches, ne consultant que l'amour qu'il lui portait et bravant l'affaiblissement graduel de sa vue et de sa santé, Alcan regardait comme un de ses plus impérieux devoirs, l'exactitude du professeur, et plus d'une fois nous fûmes pour ainsi dire obligé, dans l'intérêt d'une vie précieuse au Conservatoire, de lui interdire l'exercice de son enseignement. Il y a peu de jours encore qu'en présence de ses nombreux et fidèles auditeurs, il rouvrait ce cours, que la maladie le contraignait bientôt à interrompre de nouveau pour la dernière fois. On peut dire qu'il est tombé sur la brèche.

« Homme de labeur, fils de ses œuvres, toujours prêt à communiquer aux industriels de tout rang les fruits de ses longues études, à les éclairer de son expérience, Alcan était l'ami de tous ceux qui, à son exemple, cherchent à s'élever par le travail. Sorti de leurs rangs, ne devant rien à la faveur, indépendant dans ses idées économiques comme dans ses opinions politiques, mais avant tout, homme d'ordre et de devoir, sans ambition personnelle, il joignait à ces vertus du citoyen, les sentiments religieux les plus fermes et les plus sincères.

« Membre du Consistoire israélite de Paris pendant de longues années, et plus tard du Consistoire central de France, il participait avec ardeur à ces créations, à ces fondations charitables si nombreuses qui ont pour but et pour heureux résultat l'amélioration morale, intellectuelle et matérielle de ses coreligionnaires.

« Dans son passage sur cette terre, il aura, dans la mesure de ses forces, contribué à répandre sur ses semblables les lumières de la science et les bienfaits de la charité : la miséricorde divine lui en tiendra compte et la terre lui sera légère. »

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue de M. Bömches, membre de la Société :

« Permettez-moi, Monsieur le Président, de m'adresser à votre obligeance pour vous demander des renseignements sur les moyens installés en France pour assurer le trafic du pétrole, dans les ports de commerce, sans mettre en danger les autres marchandises en cas d'incendie.

« J'ai l'honneur de préciser l'objet de ma demande en remettant les questions comme suit :

« 1° Y a-t-il en France des bassins spéciaux à pétrole, et quelle est leur mode d'installation?

« 2° De quelle manière sont établis les parcs à pétrole installés provisoirement, de manière à séparer une partie des bassins du reste du port?

« 3° Quelles sont les expériences acquises en France, soit avec les bassins spéciaux, soit avec les parcs à pétrole?

Digitized by Google

« 4° Quel procédé emploie-t-on pour charger avec la moindre perte de temps et d'argent le pétrole arrivé par mer directement dans les wagons?

« Telles sont les questions qui intéressent en ce moment à un haut degré le port de Trieste, où le commerce du pétrole prend un développement de plus en plus considérable.

« Il était en 1876 de 19,375 tonnes, ce qui représente une augmentation de 76 p. 100 en sept ans. Vu cette situation, nous sommes aux études de la question du pétrole, et nous serions bien désireux de profiter des expériences acquises à ce sujet dans les ports français.

« C'est pourquoi je prends la liberté de m'adresser à la Société, pour réclamer du savoir et du concours bienveillant de ses Membres des éclaircissements relatifs aux questions posées.

« Veuillez agréer, etc., etc. »

M. LE PRÉSIDENT prie les Membres de la Société qui pourraient répondre à ces questions de vouloir bien adresser leurs réponses au Secrétariat.

M. MARCHÉ remet à la Société, de la part de notre collègue M. Ronna, un exemplaire de son livre intitulé : ***Rothamsted,*** trente années d'expériences agricoles de MM. Lawes et Gilbert.

Rothamsted est le nom d'un domaine, situé à 45 kilomètres de Londres, appartenant à M. Lawes et sur lequel celui-ci a procédé, avec le concours du Dr Gilbert, à une série de recherches, prolongées pendant plus de trente ans, sur les problèmes les plus complexes de l'agriculture.

Quarante-cinq Mémoires parus depuis 1847 ont fait connaître successivement les résultats de ces laborieuses études, dont l'ensemble constitue une œuvre réellement magistrale.

Ce sont ces résultats qui sont résumés et présentés, avec les conséquences à en tirer au point de vue scientifique et au point de vue agricole, dans le livre de M. Ronna.

M. Lawes avait créé en 1842 à Deptford et plus tard à Barking, deux usines pour la fabrication des engrais solides et pulvérulents connus sous le nom de *superphosphates*, et ses usines livraient en 1870 plus de 40,000 tonnes de produits phosphatés à l'agriculture anglaise; elles furent rachetées par une puissante compagnie, et en quittant l'industrie en 1872, pour consacrer, disait-il, le reste de ses jours à la science agronomique, il dotait son laboratoire et ses champs d'essais d'une somme de 2,500,000 francs pour subvenir après sa mort aux dépenses nécessaires pour poursuivre les expériences en cours à Rothamsted.

On devine toute l'importance des résultats qui ont pu être acquis par trente ans d'expériences incessantes, à la fois scientifiques et pratiques, destinées d'ailleurs à se prolonger indéfiniment, et cette importance fut telle, que dès 1854 les agriculteurs du comté de Herts ouvraient une souscription publique pour construire un laboratoire modèle dans le parc de Rothamsted et que ce laboratoire était offert à M. Lawes le 19 juillet 1855.

Digitized by Google

M. Marché sans entrer dans l'analyse des résultats résumés et groupés avec tant de méthode et de clarté par M. Ronna, les questions agricoles n'étant pas de notre domaine, se borne à indiquer la méthode générale employée par MM. Lawes et Gilbert dans leurs recherches.

D'une part, des champs d'essais, pièces divisées en parcelles comprenant deux bandes de 3 à 4 mètres de largeur et de la longueur du champ; chacune des parcelles préparée avec différents engrais est cultivée de la même manière pendant 10, 15 ou 20 années consécutives.

D'autre part, la constatation chaque année et pour chaque parcelle de la nature et du poids des divers éléments des récoltes, et de toutes les données chimiques que peut fournir l'essai au laboratoire.

Telles furent les deux séries d'opérations poursuivies pour les diverses cultures, blé, orge, turneps, betteraves, avoine, prairie, etc., et qui ont fourni les éléments les plus intéressants et les plus précis sur l'action et le rôle des divers engrais, l'effet des saisons, le rôle de l'azote, etc., etc.

M. Marché insiste sur le caractère spécial de cette méthode expérimentale, résultant de l'association permanente du laboratoire et du champ d'essai et de la continuité des observations.

La réunion de ces conditions est indispensable pour éclaircir les faits relatifs à l'agriculture, en raison du grand nombre de données et de circonstances qui influent sur ces faits, mais elle est également nécessaire dans l'étude des autres branches de l'activité humaine.

Si ce système d'expériences continues a pu être appliqué en Angleterre, grâce à l'emploi d'une grande fortune personnelle et à la persévérance infatigable de deux hommes, il peut l'être et il l'est en France, grâce à l'association des capitaux, dans les grandes usines et les grandes Compagnies.

Pendant longtemps, la science expérimentale, la recherche des faits réels démontrés par la balance et l'analyse chimique, a procédé, par ainsi dire, par soubresauts, par saccades. En dehors des praticiens, une série d'essais faits isolément apportait un chiffre, quelques coefficients, puis on vivait 10, 15 ou 20 ans sur ces résultats devenus classiques pour quelque temps, jusqu'à ce qu'un nouvel expérimentateur, avec des données plus précises, des moyens d'investigation plus perfectionnés, vînt apporter des chiffres nouveaux et plus sûrs que les précédents.

Nous commençons à ne plus procéder ainsi et à entrer dans la voie de l'*essai continu*, prolongé et poursuivi parallèlement à la marche des faits de la pratique journalière.

La *statistique* dans les sciences économiques et dans l'industrie des transports en est une des formes.

La métallurgie en a fourni une application des plus caractéristiques. Les progrès étonnants et si rapides de la fabrication de l'acier pendant les dix dernières années, n'ont pas d'autre cause que la continuité des recherches du laboratoire avec l'observation des faits de la fabrication.

C'est en dosant chaque jour et pour chaque opération les proportions de

Digitized by Google

carbone, de phosphore, de manganèse, etc., introduites dans les appareils et celles retrouvées dans les produits, qu'on est parvenu à apporter la lumière sur le rôle si important de ces éléments. Il est à regretter seulement, que ces séries d'expériences continues ne fassent pas l'objet de publications plus fréquentes et c'est à ce point de vue, qu'en dehors de l'intérêt qu'a l'ouvrage de M. Ronna, pour ceux qu'intéressent les questions agricoles, il convient d'insister sur l'utilité de cette publication.

M. Lartigue (Henri) a la parole pour sa communication sur les Électro-Sémaphores.

M. Lartigue, avant de parler sur la question indiquée à l'ordre du jour, demande l'autorisation de présenter à la Société un appareil de contrôle du fonctionnement des aiguilles de changement de voie manœuvrées à distance.

Il y a de plus en plus, chez les ingénieurs de chemins de fer, tendance à grouper les leviers des aiguilles et à les enclencher les uns par les autres, afin de diminuer les chances de fausses manœuvres. Les aiguilles sont donc souvent éloignées de l'agent qui les fait fonctionner, et soustraites à sa surveillance immédiate. Cependant il est fort important qu'il sache si les lames ont bien obéi à l'action du levier et si l'application sur le contre-rail est complète, car un écart de quelques millimètres suffirait parfois à causer un déraillement.

Or, quelle que soit la perfection apportée dans l'établissement des transmissions, lorsqu'elles dépassent une certaine longueur, l'élasticité et les flexions des tiges peuvent faire que, le levier étant à sa position normale, la lame de l'aiguille, ayant rencontré un obstacle ou éprouvé une résistance quelconque, ne s'applique pas sur le contre-rail et que l'aiguille reste béante.

Sur l'invitation qui lui en a été faite, M. Lartigue a étudié un système de contrôle, qui est devenu réglementaire au chemin de fer du Nord, pour toutes les aiguilles éloignées de plus de cinquante mètres de leur manœuvre, et qui est même appliqué, dans certains cas, pour des distances bien inférieures; quatre-vingts appareils ont été montés depuis dix-huit mois. Plusieurs autres fonctionnent aussi, depuis le mois d'août 1875, sur le chemin de fer de Ceinture, à Bercy.

Le système est basé sur l'emploi d'un commutateur à mercure qui peut avoir de nombreuses applications. Il est formé d'une boîte en ébonite étanche et exactement vernie à la gomme laque à l'intérieur. Des tiges de platine pénètrent dans la boîte et leur position relative est déterminée selon l'usage à faire de l'appareil; la boîte renferme du mercure pur et bien sec. La communication électrique est établie ou interrompue entre ces tiges de platine selon que le mercure les baigne à la fois ou laisse une d'elles découverte, par conséquent selon les positions de la boîte. Celle-ci est divisée en deux loges par une cloison percée d'un petit orifice inférieur : le mercure ne peut passer d'une loge dans l'autre qu'en filet mince, ce qui, dans l'ap-

Digitized by Google

plication de ce commutateur au contrôle des aiguilles, n'a d'autre utilité que de prolonger la durée des communications électriques pendant un instant, même lorsque l'appareil est brusquement déplacé.

Des cordons métalliques souples, protégés par un corps isolant, établissent la relation des contacts intérieurs du commutateur et des autres pièces du système.

Le contrôleur d'aiguilles est ainsi disposé :

Au côté extérieur du contre-rail, vis-à-vis de l'extrémité de chacune des lames *mo*biles de l'aiguille, est fixée une plaque sur laquelle est articulée une bascule munie d'une tringle qui traverse l'âme et fait une légère saillie. Lorsque la lame d'aiguille est exactement appliquée sur le contre-rail, la tringle est repoussée et la bascule est maintenue dans une position inclinée; elle redevient horizontale lorsque la lame est écartée.

Par conséquent, dans la position régulière des aiguilles, où l'une des lames est appliquée sur le contre-rail et l'autre écartée, une des bascules est inclinée et l'autre horizontale. Dans le passage d'une des positions à l'autre, les deux lames étant à la fois écartées, les deux bascules sont horizontales.

Le commutateur à mercure est fixé sur la bascule et une boîte en métal abrite ces pièces.

Une sonnerie trembleuse et une pile sont placées près des leviers de manœuvre.

Les communications électriques entre les diverses parties du système, sont établies de telle sorte qu'à chaque manœuvre de l'aiguille, pendant que les deux lames sont écartées à la fois de leurs contre-rails, la sonnerie se fait entendre. Elle cesse presque aussitôt de fonctionner, si l'aiguille a été mise à une position régulière, c'est-à-dire, si l'une de ces lames est très-exactement appliquée sur son contre-rail; la sonnerie marcherait, au contraire, sans interruption si, pour une raison quelconque, les deux lames restaient à la fois écartées des rails. Dans ce dernier cas, la manœuvre devrait être recommencée, ou bien l'aiguilleur aurait à rechercher la cause du mauvais fonctionnement. La position du levier indique d'ailleurs dans quel sens l'aiguille est placée.

Si la sonnerie ne fonctionne pas pendant la manœuvre, l'aiguilleur sera averti que le système électrique n'est pas en bon état, et qu'il doit, par conséquent, constater d'une autre façon la position régulière des lames de l'aiguille.

Une seule pile et une seule sonnerie sont nécessaires pour chaque groupe d'aiguilles : plusieurs aiguilles ne pouvant être manœuvrées simultanément, le contrôle s'applique sans aucun doute possible à celle qui est mise en mouvement.

Si en dehors de toute manœuvre, la sonnerie se mettait à fonctionner, l'aiguilleur serait averti que l'une de ses aiguilles est indûment déplacée, et il devrait en rechercher la cause.

Le réglage de l'appareil se fait au moyen d'un écrou mobile sur la broche

Digitized by Google

qui traverse l'âme du contre-rail, et sur lequel appuie la lame de l'aiguille.

On peut par là arriver à constater l'écartement de l'aiguille à moins d'un millimètre près, et comme d'ailleurs à chaque manœuvre l'état du système électrique se contrôle, cet appareil offre toutes les garanties de sécurité.

Les contrôleurs sont disposés de façon que l'humidité du sol, la neige, etc., ne nuisent en rien à leur bon fonctionnement.

Un modèle de l'appareil, de grandeur d'exécution, est mis sous les yeux des Membres de la Société.

M. Lartigue aborde ensuite la question des électro-sémaphores. Il rappelle qu'à la séance du 18 juillet 1873 il a exposé à la Société les principes de ces appareils, destinés à assurer la couverture permanente des trains en marche, selon les règles du *Block-System*, c'est-à-dire du mode d'exploitation où la distance est substituée au temps pour maintenir l'espacement des trains. Il montra alors principalement leur fonctionnement sur les lignes à double voie. Le 20 octobre 1876, lors de la communication de M. H. Mathieu sur le *Block-System* en Angleterre, il a eu l'occasion de reparler des appareils sémaphoriques, surtout au point de vue de l'économie et des facilités de l'exploitation. La communication présente aura principalement pour objet l'application des électro-sémaphores aux lignes à voie unique.

Aussi M. Lartigue se bornera à reproduire les points principaux du programme qu'en collaboration avec M. Tesse, membre de la Société et M. Prudhomme, constructeur à Paris, il a cherché à réaliser pour les doubles voies.

Signaux à vue, s'adressant au mécanicien, solidaires des indications électriques, mais néanmoins mis et maintenus à la position d'arrêt sans l'intervention de l'électricité : celle-ci peut donc faire défaut, sans que la sécurité soit compromise. Ces signaux à vue sont les ailes des sémaphores.

Impossibilité, pour l'agent qui a couvert un train par un signal d'arrêt à vue, d'effacer ce signal.

Train annoncé en avant, en même temps qu'il est couvert par le signal d'origine de la section.

Signal d'arrêt couvrant l'origine d'une section effacée directement par l'agent du poste placé à l'autre extrémité, lorsque la section est redevenue libre.

M. Lartigue, au moyen d'un modèle, explique le fonctionnement du système.

Soit une ligne à deux voies AN, divisée en sections par des postes sémaphoriques placés en A, B, C ... N

A B C... N.

Au départ du train de A, l'agent le couvre par un signal d'arrêt qui fait apparaître en B un voyant annonçant l'expédition de ce train de A vers B.

A l'arrivée en B, si le train continue vers C, l'agent le couvre et l'annonce en C, puis, en faisant disparaître son voyant, il efface le signal d'arrêt en A

Digitized by Google

et rend libre la première section. L'agent de C agit de même au passage du train, et ainsi de suite jusqu'au point où s'arrête le train.

Toutes ces opérations se font par un demi-tour de la manivelle d'un appareil de manœuvre qui agit directement sur l'aile du sémaphore ou sur le voyant.

Tous ces signaux à distance sont répétés à l'agent qui les a provoqués par un accusé de réception envoyé automatiquement du poste où ils se sont produits.

On peut intercaler dans le circuit des sémaphores des mâts de signaux manœuvrés aussi par l'électricité, et destinés à fournir des indications permanentes sur la marche des trains, aux garde-barrières des passages à niveau.

Outre les signaux destinés à protéger et à annoncer les trains en marche, les appareils sémaphoriques sont disposés de façon à permettre, aux agents des postes et aux garde-barrières, l'échange, au moyen d'un vocabulaire de convention, d'indications sur les principaux incidents qui pourraient se produire. Cet échange se fait par des sonneries annexées aux appareils. On les utilise, sur la ligne de Chantilly pour faire rentrer en communication les postes télégraphiques laissés hors du circuit.

Depuis plus de trois ans que les électro-sémaphores sont installés sur une section du réseau du Nord, leur bon fonctionnement a été constaté par une enquête officielle : il a été bien établi que les orages n'avaient jamais, comme certains ingénieurs le craignaient, changé la position des signaux à vue. Néanmoins, comme l'influence atmosphérique n'est pas impossible, M. Heurteaux, ingénieur des mines, attaché à l'exploitation du chemin de fer d'Orléans, assisté de M. Guillot, contrôleur du télégraphe de la même Compagnie, a proposé une combinaison, au moyen de laquelle la force attractive de l'aimant Hughes, principal organe électrique de l'appareil, est augmentée, pour maintenir les signaux à la position régulière, et qui détermine en outre le fonctionnement d'une sonnerie d'alarme aux deux stations en correspondance aussitôt que les signaux de protection ont été indûment effacés.

Les appareils sémaphoriques, avec cette modification, vont être appliqués sur une section du réseau d'Orléans.

Sur les lignes à voie unique, les appareils destinés à protéger les trains en marche doivent non-seulement les couvrir en arrière, mais surtout les garantir d'une rencontre avec un train expédié en sens inverse. Leurs indications ont donc la valeur d'un signal d'arrêt aussi bien en avant qu'en arrière.

En Angleterre, de petits appareils, dont les indications doivent être répétées par des signaux à vue non solidarisés, sont employés sur les lignes à voie unique, comme sur les lignes à deux voies, et avec plus d'inconvénients encore.

En Allemagne, en Autriche, en Italie, au Nord français, on a réparti sur la ligne de grosses sonneries à déclenchements électriques qui font con-

Digitized by Google

courir à la sécurité de l'exploitation les garde-barrières des passages à niveau en leur indiquant l'expédition et le sens de la marche des trains. Cela donne donc le moyen de corriger une erreur commise par une station, qui aurait expédié un train avant qu'un train marchant en sens contraire eût quitté la section.

Les indications consistent en tintements groupés d'une façon déterminée. Une série de tintements signale l'expédition d'un train dans un sens, deux séries indiquent la marche en sens contraire.

Les gardes, s'ils reçoivent les signaux indiquant l'expédition de deux trains marchant l'un vers l'autre, doivent faire à la main le signal d'arrêt au premier qui se présente.

La protection des trains marchant dans le même sens est basée sur l'intervalle de temps qui sépare les passages successifs devant les postes gardés.

Rien du reste n'annonce, ni à la station qui a expédié le train, ni aux garde-lignes, que ce train a quitté la section.

L'exploitation avec les sonneries dites allemandes ne rentre donc pas dans le *Block-System* proprement dit.

M. Lartigue explique comment les électro-sémaphores peuvent être utilisés sur les voies uniques.

Le but du système est de rendre à peu près impossible l'expédition de deux trains en sens inverse ; si, contre toute prévision, un train était indûment engagé, de donner la possibilité de l'arrêter par une série de signaux permanents et s'adressant directement aux mécaniciens ; enfin de protéger les trains sur la voie unique aussi bien en arrière qu'en avant.

Les appareils de manœuvre sont les mêmes que pour les lignes à doubles voies, sauf une légère modification dans les communications électriques ; mais le voyant des mâts est remplacé par une aile ayant la valeur d'un signal d'arrêt, au même titre que l'aile supérieure du sémaphore.

M. Lartigue démontre, au moyen du modèle mis sous les yeux des membres de la Société, le fonctionnement du système.

Les ailes supérieures des sémaphores sont normalement à la position d'arrêt, et ne sont effacées que pour permettre l'introduction d'un train sur la section. L'agent du poste ne peut effacer les ailes de son sémaphore.

Les ailes inférieures, qui remplacent les voyants des mâts des doubles voies, sont apparentes tout le temps qu'un train marche vers le poste; elles doublent donc le signal d'arrêt donné par les ailes supérieures, et de plus, au moyen d'un encliquetage mécanique, clavettent alors les ailes supérieures à la position d'arrêt, de telle sorte, que, quoi qu'il arrive, celles-ci ne puissent être effacées. L'aile inférieure devient apparente sous l'action d'un courant émis par le poste correspondant.

L'apparition de l'aile inférieure détermine en outre l'envoi, vers le poste en correspondance en arrière, d'un courant qui efface l'aile supérieure de ce poste et permet l'ouverture de la section.

Digitized by Google

Soit une ligne à voie unique AN divisée en sections par les stations A, B, C... N, pourvues chacune d'un poste sémaphorique.

A B C ... N.

Si A doit expédier un train vers B, il doit avant tout provoquer l'ouverture de la section en A; pour cela, au moyen d'un commutateur, l'agent envoie vers B un courant qui détermine l'apparition de l'aile inférieure en B. Le signal d'arrêt donné par l'aile supérieure est doublé et l'aile clavetée à sa position horizontale. Un courant de retour automatique est envoyé de B en A et efface l'aile de A, ce qui permet au train d'entrer sur la section.

Après le départ, l'aile de A est remise à l'arrêt à la main, et le train circule donc couvert en arrière par cette aile et garanti en avant par les deux aile de B clavetées l'une par l'autre.

La remise à l'arrêt de l'aile de A détermine, d'ailleurs, l'apparition en B d'un écran qui marque que le train annoncé par l'apparition de l'aile inférieure est réellement parti.

A l'arrivée en B, si le train continue, l'agent de B agit du côté de C, pour se faire ouvrir la section B C et expédier son train en le couvrant; puis il efface son aile inférieure, ce qui détermine en A l'apparition d'un écran annonçant l'arrivée du train en B, mais sans changer la position des signaux de protection.

Les choses sont ainsi disposées de telle sorte que, sans l'intervention des agents, les origines des sections sont toujours bloquées, et qu'en outre une fausse manœuvre ou un dérangement de l'appareil met ou maintient forcément à l'arrêt les signaux des stations.

L'agent d'un poste peut, en supprimant les communications, immobiliser à l'arrêt les ailes des deux postes entre lesquels il se trouve : elles fonctionneraient alors comme signaux à distance. De même, un garde-ligne pourrait au besoin, en coupant les fils par exemple, bloquer de part et d'autre sa section, en cas d'incident inopiné y rendant la circulation dangereuse (inondation, éboulement, rupture de rail, etc.).

Malgré toutes les précautions ci-dessus détaillées, comme il n'est pas matériellement impossible qu'un train ne soit indûment engagé, si, par exemple, un mécanicien forçait le signal, il a paru bon de profiter du principe qui a présidé à l'adoption des sonneries allemandes, et de donner la possibilité d'arrêter ce train par l'intervention des agents de la voie.

Pour cela, des mâts intermédiaires sont placés près des passages à niveau, ou mieux encore, à l'origine des voies d'évitement, à l'entrée des stations.

Les bras de ces mâts, peints et éclairés comme les ailes des sémaphores, ordinairement enclenchés à l'arrêt, sont déclenchés, dans le sens de la marche, par le courant de retour, qui efface l'aile du sémaphore du poste qui a à expédier le train.

Digitized by Google

Donc, un train engagé sur la voie sans avoir été annoncé serait arrêté par une série de signaux permanents.

La production de tous les signaux visuels, soit des électro-sémaphores, soit des mâts des garde-lignes, est accompagnée d'un signal acoustique, un coup de timbre, par exemple.

On voit, par ce qui précède, que tout est combiné d'après les principes du *Block-System*, tels qu'ils ont été formulés par *Edwin Clark*, successeur de *Stephenson* :

« L'appareil doit être de la forme la plus simple et peu susceptible de dérangement.

« Les signaux doivent être simples, peu nombreux et assez clairs pour qu'une erreur ne puisse se produire.

« La mémoire des agents ne doit pas être en jeu, et les signaux doivent par conséquent être permanents et non temporaires; enfin, aucun accident ne doit pouvoir être causé par le dérangement de l'appareil ou l'absence du garde; mais ces irrégularités ne doivent pouvoir occasionner qu'un retard aux trains. »

M. Mathias et plusieurs autres Membres posent à M. Lartigue diverses questions pour lui faire préciser quelques points de son exposition.

M. Mékarski exprime la pensée que les garanties données par l'organisation des postes sémaphoriques des stations sont suffisantes, et que l'intervention des garde-lignes devient très-secondaire, sinon inutile.

M. Lartigue considère cet avis comme trop absolu ; il croit qu'il y a lieu de ne négliger aucun moyen pour parer à une de ces éventualités qui déjouent les prévisions, et les résultats donnés par les sonneries allemandes engagent à en conserver le principe, sauf à perfectionner ces appareils, en les transformant en signaux permanents.

M. Mathias, insistant sur l'importance du rôle des garde-lignes, croit qu'il serait nécessaire que le signal acoustique fût, non un simple coup de timbre, mais le jeu d'un carillon assez prolongé.

M. Lartigue répond que rien n'est plus facile que de réaliser ce désidératum, soit en employant les sonneries allemandes, là où elles existent, pour donner ce signal acoustique, en les faisant fonctionner par le déclenchement du signal à vue; soit en adaptant au mât un carillon, comme celui qui sert à annoncer l'entrée des trains dans les gares principales; le mécanisme serait remonté par le fait même de la remise à l'horizontale de l'aile du mât.

M. Mathieu fait observer qu'en Autriche, les sonneries des gardes ne servent pas uniquement à signaler l'expédition et le sens de la marche des trains, mais sont utilisées pour l'échange, entre les gardes et les stations, d'autres signaux au moyen d'un vocabulaire de convention.

M. Mathias répond que ce dispositif nécessite l'emploi d'un courant électrique continu, qui a l'inconvénient d'être coûteux.

M. Lartigue ajoute que le système qu'il propose, loin de priver les agents

Digitized by Google

du moyen de correspondance dont parle M. H. Mathieu, le perfectionne au contraire.

Comme il a été dit pour la double voie, les gardes des postes intermédiaires ont la faculté d'échanger des signaux de convention par des sonneries accessoires. Les facilités sont donc les mêmes qu'avec les sonneries autrichiennes, et cette combinaison a le très-grand avantage que la correspondance accessoire a lieu au moyen d'appareils distincts de ceux qui servent à couvrir les trains et à en annoncer la marche ; que par là on évite les confusions qui ne peuvent manquer de se produire en multipliant les indications données par les mêmes organes, surtout ces indications étant basées sur le nombre et le groupement de tintements et exigeant par conséquent, pour être comprises, une oreille exercée et une attention soutenue.

M. Mathieu demande ce qui se produirait si l'ouverture d'une section était demandée simultanément, par deux postes en correspondance, pour deux trains marchant en sens inverse.

M. Lartigue répond qu'il serait à peu près impossible que la manœuvre nécessaire pour demander l'ouverture de la voie fût assez simultanée pour qu'un courant ne devançât pas l'autre de la fraction de seconde nécessaire à l'action électrique ; mais que si, par impossible, les deux circuits étaient émis au même instant mathématique, les ailes des deux postes en correspondance seraient clavetées l'une et l'autre à la position horizontale, et les trains se trouveraient ainsi l'un et l'autre vis-à-vis d'un signal d'arrêt.

Il serait alors nécessaire de recourir au télégraphe pour régler la situation selon les prescriptions réglementaires, c'est-à-dire que l'on rentrerait exceptionnellement dans les conditions des lignes non pourvues d'appareils spéciaux, où les incidents de l'exploitation donnent lieu à l'échange d'une série de dépêches obligatoires.

Pour donner encore de nouvelles garanties à la sécurité, on pourrait, aussi bien sur les doubles voies que sur les voies uniques, doubler les signaux commandant l'arrêt par un signal acoustique dépendant du premier, soit un pétard placé par la manœuvre de l'aile du sémaphore, soit le sifflet électro-automoteur, qui a été soumis à la Société le 18 juillet 1873, et qui est largement appliqué au Nord.

On pourrait, en outre, selon les principes de l'*Interloking-System* des Anglais, enclencher les aiguilles de changement de voies par les signaux, et réciproquement.

La puissance de l'aimant Hughes, et la solidité de toutes les pièces des appareils électro-sémaphoriques, permettent de réaliser directement toutes ces combinaisons.

Deux circulaires ministérielles du 25 mars 1876 et du 31 janvier 1877, ont signalé les électro-sémaphores à l'attention des Compagnies de chemins de fer.

Il est ensuite donné communication de la note de M. Leneveu, sur les transmissions par courroies.

Digitized by Google

L'auteur a eu pour but d'arriver par une méthode facile à une détermination prompte des éléments divers qui constituent les transmissions de mouvement par poulies et courroies, et il a appliqué son étude spécialement aux courroies en cuir, qui sont toujours généralement préférées aux autres, malgré leur prix d'achat plus élevé, parce qu'elles ont une plus longue durée.

La première partie du travail est consacrée à l'examen de la courroie; quelques principes théoriques y sont rappelés: la section de résistance d'une courroie ne doit être prise que pour les 0,85 de la section réelle; le coefficient de résistance pratique peut être de 25 kilogrammes par centimètre carré de section; il doit exister un certain rapport entre la tension du brin conducteur et celle du brin conduit; ce rapport varie d'après l'arc embrassé, la nature de la courroie et celle de la poulie; enfin, comme conséquence, l'auteur confirme la règle connue que le nombre de chevaux qu'une courroie simple peut transmettre est égal au nombre de fois qu'il passe 1,200 centimètres carrés de surface de courroie par seconde. Pour les arbres premiers moteurs, il convient de porter ce chiffre à 1,500 centimètres carrés, et lorsque la courroie est double, il ne serait que de 750 centimètres carrés.

Ces éléments étant ceux relatifs à du cuir de veau de qualité, ils doivent être réduits de moitié pour le cuir blanc de cheval ou la vache lissée.

L'auteur indique ensuite les moyens à prendre pour maintenir la courroie sur la poulie et pour éviter la promenade latérale, savoir : 1° le bombé à donner aux poulies qui peut être de 1/25 de la largeur pour les poulies de grandes dimensions et d'un peu plus pour les petites et moyennes poulies, sans atteindre le 1/10 de la largeur; l'emploi de joues latérales; 2° ces joues, pour être efficaces, ne doivent pas être raccordées avec la surface de la poulie par un simple congé, mais par une gorge creuse de forme évasée; la face intérieure de la joue doit présenter elle-même une forme convexe; grâce à ces précautions, la courroie ne peut pas monter sur la joue, comme cela arrive d'ordinaire.

Dans sa note, M. Leneveu fait observer en dernier lieu qu'il faut tenir compte surtoutpour les transmissions très-rapides, telles que celles des ventilateurs ou des batteurs de filature, qui marchent de 1,200 à 2,000 tours, du ralentissement qui résulte pour la poulie conduite de la différence de tension et par conséquent d'allongement du brin conducteur et du brin conduit. Ce ralentissement est de 1/50 environ.

Dans la deuxième et la troisième partie de son travail, l'auteur étudie la torsion et la flexion des arbres, d'après les dimensions des poulies clavetées sur ces arbres et destinées à transmettre une force déterminée et il donne quelques coefficients et quelques règles pratiques sur ce sujet.

Enfin, la quatrième partie présente quelques considérations générales sur l'établissement d'une grande ligne de transmission de mouvement pour la commande d'un atelier. Il y a lieu, dans ce cas, de se préoccuper : 1° de la dilatation possible par les variations de température, 2° de la disloca-

Digitized by Google

tion des murs ou tassements inégaux du sol qui peuvent arriver après la construction.

Ce dernier fait, pour n'être pas toujours apparent par des lézardes dans les murs, n'en est pas moins souvent très-réel si la ligne est longue.

Ces deux inconvénients sont écartés, ou plutôt palliés, par l'emploi de manchons à tourteaux. On établit à chaque jonction d'arbre une chaise en fonte d'une seule pièce à deux paliers et les paliers sont solidement reliés à la chaise au moyen de cales, clavettes et boulons. C'est dans l'intervalle de ces deux paliers que se placent les deux tourteaux clavetés, chacun sur son arbre et formant le manchonnage.

L'un d'eux porte, solidement boulonnés, des goujons renflés qui pénètrent à frottement dans des trous percés *ad hoc* dans l'autre plateau.

Chez M. Voruz, deux lignes principales de transmission de 70 millimètres de diamètre et de 130 mètres de long, existent de chaque côté de l'atelier d'ajustage, les arbres ont tous 6 mètres de long avec un intervalle de 4 millimètres à la température de 10 à 12 degrés, une chaise simple est placée entre deux chaises doubles, la saillie des chaises consoles sur les murs est de 480 millimètres et la vitesse de rotation de 65 tours par minute.

Ce système permet un léger déhanchement dans la ligne de transmission qui peut ainsi former une ligne brisée assez visible, sans que les résistances passives de frottement soient sensiblement augmentées. D'ailleurs, comme la transmission ne forme pas un tout invariable de forme, que les bouts des arbres laissent entre eux quelques millimètres d'intervalle, ce jeu s'utilise pour les dilatations possibles que les changements de température opèrent.

Pour ce genre de transmission il faut soigner l'ajustage des moitiés des manchons ou tourteaux et leur donner comme longueur sur l'arbre, celle des moyeux ordinaires des poulies; car ils sont soumis à une dislocation incessante à laquelle ils doivent résister; il est donc indispensable que leurs clavetages soient bien faits et ne soient pas trop courts. Mais par contre, pour que la place prise en tout par les chaises ne soit pas considérable, on fait les bouts d'arbres aussi longs que possible, sauf à placer une ou plusieurs chaises simples entre les chaises doubles.

Pour le cas de transmissions moins longues que 30 à 40 mètres, devant faire marcher un atelier, il n'y a pas lieu de craindre la dilatation; la jonction des arbres se fait bout à bout; les chaises et les manchons se placent indépendamment les uns des autres; seulement les manchons, quel qu'en soit le système, sont toujours situés près des paliers et du côté opposé à celui par lequel la file d'arbre reçoit son mouvement.

Dans les ateliers de Seraing (Belgique), de J. Cockerill, il fut établi quatre lignes d'arbres de 80 mètres de longueur chacune et de 80 millimètres de diamètre, marchant à 60 tours par minute avec des chaises simples de 590 millimètres de portée et des manchons ordinaires d'une seule pièce clavetés.

Ces transmissions sont décrites dans les annales industrielles de 1873,

Digitized by Google

premier semestre. — Elles ne présentent aucun jeu au bout des arbres et n'ont pu exister que par suite d'une disposition heureuse qui permet d'avoir toujours la même température dans l'atelier, quelle que soit la saison de l'année.

Pour ces transmissions rigides, sans jeu au bout des arbres, M. Leneveu préconise le manchon d'assemblage en trois pièces qu'il a construit et qui plusieurs fois lui a été très-utile.

Son principal avantage est dans la promptitude avec laquelle on peut monter ou démonter les portions d'arbre pour enlever des poulies ou en remettre de nouvelles et cela sans ébranler (comme cela existe trop souvent) les paliers ni disloquer les scellements des chaises.

Ce manchon se compose d'un disque entier claveté sur l'un des arbres, et en retraite sur lui de 10, 15, 20 millimètres, etc., suivant que les arbres sont de 60, 75, 100 millimètres, etc., de diamètre, et d'un autre disque en deux pièces mises à cheval sur l'arbre et boulonnées entre elles. Les deux disques clavetés respectivement sur leurs arbres sont boulonnés entre eux. On a soin que les arbres se touchent bout à bout avant de donner les derniers coups de clefs d'écrou d'assemblage des deux moitiés du deuxième disque et le manchonnage est fait. Ainsi le disque de deux pièces a sa face de jonction qui dépasse de 10, 15, 20 millimètres, etc., le bout de son arbre; il suffit donc pour un démontage de déboulonner ce disque ou seulement une de ses moitiés, et l'arbre peut s'enlever et se remettre sans coup de marteau.

Les 10, 15, 20 millimètres, etc., de longueur d'arbre qui dépassent l'un des disques pour entrer dans l'autre, permettent le centrage parfait des deux arbres et la clavette du manchon en deux pièces est un repère qui impose un remontage exactement pareil à ce qui existait avant le démontage, condition essentielle !

Les boulons d'assemblage sont cachés par un rebord circulaire et le manchon peut ainsi servir de tambour ou de poulie de commande.

M. Leneveu termine son travail par une remarque sur l'ovalisation qui semblerait se produire en fonderie sur toute pièce circulaire fondue à plat et en deux parties. Cette ovalisation serait, suivant lui, en corrélation avec l'orientation du moule par rapport au plan du méridien magnétique. A défaut d'expériences sérieuses sur ce fait, il conseille néanmoins, d'en tenir compte et de disposer symétriquement au méridien magnétique, les deux moules d'une même pièce circulaire de grande dimension.

M. Arson voudrait voir expliquer d'une manière satisfaisante, pourquoi les courroies ont une tendance constante à monter sur les joues des poulies. Il tient de M. Nozo une explication donnée par M. Clarke, et d'après laquelle, la tension plus considérable du bord de la courroie, développe une force latérale qui entraîne la courroie; ce pourait être vrai pour la poulie motrice, mais ce ne le serait plus pour la poulie conduite, pour laquelle la force latérale serait en sens contraire. Il y a donc une autre cause encore inexpliquée.

Digitized by Google

M. le Président fait remarquer qu'une courroie enroulée sur un cône subit par la tension l'allongement du côté qui porte sur le cône, et qu'elle tend ainsi à s'appliquer sur la génératrice de ce cône. Si la courroie repose sur la génératrice, elle s'enroule perpendiculairement à cette génératrice, et par conséquent s'avance vers le grand diamètre du cône, quel que soit d'ailleurs le sens du mouvement. Il pense donc que la question trouve sa réponse par de simples considérations géométriques.

Séance du 16 Février 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 février est adopté.

M. le Président annonce que M. Ronna, membre de la Société, vient d'être promu officier de la Légion d'honneur.

M. le Président informe la Société qu'il a reçu de Madame Poncelet les ouvrages suivants, publiés par ses soins :

1° *Traité des Propriétés projectives des figures* (2 volumes), par J.-V. Poncelet.

2° *Introduction à la Mécanique industrielle, physique ou expérimentale*, par J.-V. Poncelet. 3e édition, publiée par M. X. Kretz, ingénieur en chef des manufactures de l'État.

3° *Cours de Mécanique appliqué aux Machines*, par J.-V. Poncelet (2 volumes), publié par M. X. Kretz, ingénieur en chef des manufactures de l'État.

4° *Applications d'Analyse et de Géométrie, qui ont servi de principal fondement au Traité des Propriétés projectives des figures*, par M. J.-V. Poncelet.

M. le Président s'est rendu l'interprète de la Société en remerciant Madame Poncelet du don qu'elle a bien voulu faire à notre bibliothèque, en souvenir de son mari, qui fut Membre honoraire de notre Société.

Il est donné lecture de la lettre suivante, adressée par M. Chabrier :

« Monsieur le Président,

« Délégué de notre Société auprès de la Société des Agriculteurs de France, je vous demande la permission d'informer nos Collègues de la session annuelle qui vient de s'ouvrir à Paris, et qui durera encore une huitaine de jours.

Digitized by Google

« Je vous adresse habituellement chaque année une analyse des discussions qui ont lieu dans ces réunions, lorsqu'elles traitent de sujets intéressant notre profession, et j'espère avoir cette année une communication de ce genre à vous faire; mais ces sujets émanent surtout de l'initiative des Ingénieurs, et je vous demande la permission de renouveler ici l'appel que j'ai déjà adressé à nos Collègues, pour les engager à faire partie de cette grande association.

« La Société des Agriculteurs de France compte près de 4,000 membres; elle traite toutes les questions qui présentent un intérêt pour la culture de la terre; dans des sessions annuelles, la préparation des questions est répartie entre onze sections qui se réunissent séparément : le matin, de neuf heures à midi, et le résultat de leur examen est rapporté par l'un des Membres devant l'assemblée générale, qui se tient de une heure à cinq heures.

« La Société est administrée par un Conseil de trente Membres, qui siége tous les mois, et auquel sont adjoints, de droit, les présidents et vice-présidents de chaque section.

« J'ai l'honneur de faire déposer sur votre bureau des exemplaires du Programme de la session de 1877.

« Veuillez agréer, etc. »

M. Georges Salomon donne communication de son Mémoire sur les fours à cuve dits cubilots.

M. Georges Salomon appelle l'attention de la Société sur l'importance que présente l'étude des cubilots.

Le Mémoire est divisé en deux parties :

Dans la première partie, le cubilot est étudié dans ses moindres détails, au double point de vue de la théorie et de la construction de cet appareil;

Dans la seconde partie se trouve une description des divers cubilots les plus répandus actuellement en France, en Angleterre, en Allemagne, etc.

La première partie se subdivise elle-même en plusieurs autres, qu'il résume rapidement.

Les fours à cuve dits cubilots, où fours à la Wilkinson, sont des appareils où il s'agit de refondre aussi rapidement et économiquement que possible un alliage facilement fusible, la fonte, sans avoir à se préoccuper de réactions chimiques.

Le métal et le combustible sont introduits à la partie supérieure par charges alternées; le vent est lancé dans le four à l'aide d'appareils soufflants peu énergiques, et le métal en fusion se rend dans la partie inférieure, d'où on peut le tirer à volonté.

M. Georges Salomon rappelle la façon dont la combustion s'opère dans les fours à cuve, dans les cubilots en particulier, où l'on devra éviter autant que possible, la formation de l'oxyde de carbone, puis qu'on n'a pas à réduire, comme dans les hauts-fourneaux; il rappelle la composition en

Digitized by Google

volume des gaz recueillis au gueulard des cubilots, par Ebelmen, pour déduire après étude que dans les cubilots actuels on utilise seulement 45 à 50 p. 100 de la chaleur réellement engendrée, et 25 p. 100 de la chaleur totale que fournit le charbon, lorsqu'on tient compte du nombre de calories que peuvent encore développer les gaz combustibles abandonnés par ces appareils.

Cette première étude de la combustion permet de déterminer d'une façon judicieuse les dimensions du four en général et de la zone de fusion en particulier, etc., etc.

M. Georges Salomon insiste plus particulièrement sur la position des tuyères.

Une série de tuyères superposées sur deux ou trois côtés du four, présente certains avantages, mais cette disposition adoptée sur les anciens cubilots, où on rangeait des tuyères sur toute leur hauteur, pour ainsi dire, avait le défaut de répartir la chaleur dans une trop grande partie du four, de compliquer le travail, etc., etc.

Depuis quelques années en France, et depuis longtemps déjà en Allemagne, on a cherché à concentrer la chaleur au niveau de la zone de fusion, en y plaçant deux rangées de tuyères, disposées de telle façon, que l'air pénétrant par la seconde rangée de tuyères vienne régénérer et brûler l'oxyde de carbone provenant de la combustion qui s'est effectuée autour de la première rangée de tuyères.

Enfin, en Amérique, en Angleterre et en Allemagne, il existe depuis peu des cubilots très-estimés où l'on a supprimé les tuyères, et où l'air arrive d'une façon régulière dans la masse en fusion, par une ouverture ménagée autour du four. Cette disposition permet d'obtenir une température bien régulière, et d'activer la fusion de la fonte, sans compromettre la solidité du four; elle supprime l'emploi de nombreuses buses et tuyères à section étroite, de telle sorte qu'on peut lancer l'air à plus faible pression, et qu'on n'a plus à s'occuper de nettoyer les tuyères.

Les profils des cubilots imaginés jusqu'à ce jour répondent aux diverses combinaisons qu'on a pu faire des profils géométriques simples, usités tout d'abord, le cylindre et le tronc de cone reposant sur sa grande ou sa petite base. Le profil ordinairement employé pour le moment, et le plus avantageux, résulte de deux cones de même axe, pénétrant l'un dans l'autre par le sommet, et dont l'intersection détermine la place de la zone de combustion.

On retrouve ce profil légèrement modifié par des parties cylindriques, dans la plupart des cubilots anglais et américains, d'invention récente. On a une cuve élargie, des étalages, une zone de fusion suffisamment retrécie et un creuset convenablement élargi, de façon à accumuler une certaine quantité de fonte liquide sans craindre le refroidissement.

M. Georges Salomon donne ensuite une description très-complète des parties constitutives du four.

Il décrit les fondations, l'enveloppe métallique, les divers systèmes de

Digitized by Google

porte-vent et de caisses à vent ou conduits circulaires entourant la zone de fusion avec laquelle elles communiquent par les tuyères.

Ce système des caisses à vent employé à la fonderie royale de Berlin il y a environ 40 ans et presque uniquement adopté de nos jours, était une reproduction sur le cubilot du mode d'introduction de l'air dans le fourneau à vent de Sefström, métallurgiste suédois. Il a l'avantage de simplifier singulièrement le travail aux tuyères.

Dans toutes les fonderies allemandes, les cubilots sont installés en ligne, le long du mur de la halle de la fonderie; ils possèdent une ouverture spéciale de coulée pour la fonte à l'intérieur de la halle de coulée et symétriquement, à l'extérieur, au-dessous de l'ouverture de chargement, une ouverture de travail destinée à nettoyer le four à la fin de chaque opération. De cette façon on peut enlever les résidus accumulés devant le four, lorsqu'on le voudra; on ne sera plus obligé d'avoir à les retirer avant de commencer le travail qui se trouve simplifié à l'intérieur; enfin on sera bien moins exposé à redouter les incendies.

M. Georges Salomon entre ensuite dans de longs détails sur la construction des massifs intérieurs des cubilots en pisé et en briques réfractaires. Il donne des renseignements sur la fonte et le combustible employés, ainsi que sur le vent lancé dans les cubilots.

Le charbon de bois n'est plus guère employé que dans les endroits où le bois est bon marché, et où l'on veut obtenir des fontes de moulage très-pures.

M. Mackenzie a conseillé, pour réaliser une économie de combustible dans les cubilots à charbon de bois, de faire circuler par les tuyères un léger filet d'huile minérale ou de pétrole, provenant d'un réservoir placé à côté du four. L'huile est entraînée dans le cubilot avec l'air de la soufflerie, et le charbon de bois n'agissant alors que comme mèche brûle beaucoup moins rapidement.

La pression du vent, généralement peu élevée, permet le plus souvent de se servir de ventilateurs; les volumes d'air à lancer dans un temps donné se déterminent facilement. Connaissant le volume d'air à lancer dans un certain temps, la pression et la température du vent, on détermine aisément le diamètre des buses et des tuyères. Un tableau donnant les volumes d'air sortis en mètres cubes en une minute, à diverses pressions par des buses de diamètres différents, est joint à sa communication.

M. Georges Salomon rappelle les essais importants tentés pour employer avantageusement l'air chaud et utiliser les gaz de la combustion.

Il donne ensuite des généralités sur la mise en feu et la conduite des cubilots. Les charges de fonte et de combustible devront être déterminées et placées avec le plus grand soin.

Les charges de fonte solide ne devront jamais être trop près de la tuyère, dans la zone de combustion où se trouve de l'air en excès, car l'oxygène de cet air affinera la fonte, la température sera insuffisante pour la fusion, et il pourra en résulter des engorgements. Les charges de coke devront

Digitized by Google

être telles que les charges de fonte se trouvent dans la zone de combustion, où domine l'acide carbonique, et il faudra veiller à ce que la fonte ne descende pas au-dessous du point où commence cette zone, en augmentant peu à peu les charges de coke, au lieu de les laisser constantes.

Il faudra donc que le fond du four soit toujours rempli d'une quantité de combustible, telle que son niveau supérieur dépasse l'axe de la tuyère d'une hauteur égale à celle de la première zone de combustion, au minimum augmentée de la hauteur correspondant à la quantité de coke qui sera brûlée au-dessous, quantité qui devrait être celle des charges de coke.

Plus la charge de fonte sera faible, plus cette hauteur diminuera, ce qui sera avantageux puisqu'on diminuera la quantité de combustible se trouvant dans la seconde zone, et les chances de production d'oxyde de carbone.

On peut cependant remarquer qu'une charge de fonte un peu forte absorberait suffisamment de chaleur, pour que l'acide carbonique de la deuxième zone ne rencontre plus au-dessus de la fonte du combustible suffisamment échauffé pour se transformer en oxyde de carbone, mais il sera préférable, pour éviter la formation d'oxyde de carbone, de diminuer la charge de combustible.

Il faudra donc, pour opérer économiquement, chercher à diminuer le volume des charges alternées, en multipliant leur nombre, donnant toujours à la charge de coke, relativement faible par rapport à celle de fonte, une épaisseur suffisante pour empêcher la charge de fonte, placée au-dessus de la traverser. Cette épaisseur varie d'ailleurs avec la nature du combustible, le diamètre des fours, la qualité de la fonte.

Du temps de Karsten, la dépense en coke s'élevait en moyenne à 48 p. 100 de fonte, cette dépense est allée en diminuant, pour atteindre en bonne marche, d'après M. Guettier, 14 à 17 p. 100. Actuellement, dans de bonnes conditions, on consomme 8 à 10 p. 100, chiffre qu'on pourrait encore réduire. Ces chiffres sont d'ailleurs très-variables avec la qualité du combustible, de la fonte, etc.

La différence entre ces chiffres et les anciens, provient de diverses causes.

Les profils et les dimensions sont mieux compris, le coke employé est plus pur et plus sec, le soufflage conduit d'une façon plus judicieuse, les charges mieux effectuées, etc.

La quantité de chaleur emportée par les gaz est plus faible, par suite de leur utilisation à l'intérieur même du four dans la zone de fusion.

La quantité de chaleur emportée par les laitiers a également diminuée avec leur proportion plus faible d'environ un tiers que par le passé; enfin, on ne se rendait pas exactement compte de la quantité de chaleur qu'il était nécessaire de faire absorber au maximum à la fonte, pour l'amener à son point de fusion, on l'exagérait.

Le point de fusion de la fonte varie entre 1200° et 1500°. Admettons, avec M. Dürre, métallurgiste allemand, qu'il faille atteindre 1500°.

Digitized by Google

Connaissant le coefficient de chaleur spécifique de la fonte à cette température, on trouvera facilement la quantité de calories qu'il faut produire plus spécialement pour amener la fonte à son point de fusion.

Ce coefficient a été déterminé par Schinz ; il égale 0,146 184. Opérant sur 100 kilog. de fonte, on voit qu'il faut produire spécialement 22,000 calories pour les amener à leur point de fusion. Pour faire passer la fonte à l'état liquide, à cette même température, il faut tenir compte de son calorique latent de fusion, qui n'a pas encore été déterminé exactement.

M. Georges Salomon aborde ensuite la seconde partie de sa communication. Après avoir fait un historique sommaire des premiers types de cubilots, imaginés depuis Réaumur, il donne la description et la conduite des divers cubilots les plus usités en Allemagne, en Angleterre et en France.

La description de quelques-uns de ces appareils est tirée de l'excellent ouvrage allemand de M. E.-F. Dürre (*Handbuch des gesammten eisengiescrei betriebes*), publié à Leipsig en 1875, ainsi que des notes insérées, dans ces dernières années, par M. Robert Mallet, dans le *Practical Mechanic journal*. Certains de ces appareils ont été vus par l'auteur, lors de ses voyages en Autriche, en Allemagne, en Angleterre, etc.

Le type du cubilot d'Ireland, employé actuellement en Allemagne et en Angleterre, est formé d'un creuset et d'une cuve ayant à peu près le même diamètre et reliés l'un et l'autre par des étalages à l'ouvrage, cylindre rétréci.

On a construit, en Angleterre et aux États-Unis d'Amérique, des cubilots d'Ireland produisant 12,000 kil. à l'heure, avec une dépense en coke d'environ 10 p. 100 et 6 à 7 p. 100 de déchets de fonte.

En Allemagne, on a aussi installé quelques cubilots d'Ireland de grandes dimensions qui servent à la fonderie proprement dite et à la fusion de fontes à traiter par l'appareil Bessemer, en remplacement des fours à réverbère, d'un emploi trop coûteux.

Ces fours, comme tous ceux qui sont décrits dans la communication de M. Salomon, sont représentés sur des planches mises sous les yeux des membres de la Société. L'un de ces fours, construit il y a environ dix ans, à la fonderie Borsig, de Berlin, porte une boîte à vent qu'on peut diviser en deux parties superposées à l'aide d'une plaque à coulisse. Ce système permet de donner le vent par celle des deux rangées de tuyères qui part de l'un ou l'autre compartiment. Le compartiment supérieur possède 8 tuyères, et le compartiment inférieur 4 seulement. Au lieu de ce système de caisse à vent, on en a adopté un autre où les deux compartiments sont formés à l'aide d'une cloison fixe, et dans chacun d'eux débouche un porte-vent. Suivant qu'on ouvrira l'un ou l'autre de ces porte-vents ou les deux à la fois, on donnera le vent par l'une ou l'autre rangée de tuyères ou par les deux rangées superposées.

Ces fours produisent à l'heure environ 2,000 kil. de fonte.

M. Georges Salomon donne les dimensions de divers cubilots d'Ireland installés récemment et des détails sur leur conduite, puis il ne fait que

Digitized by Google

rappeler les divers types de cubilots déjà décrits dans des publications françaises ou belges et qui ont quelque peu attiré l'attention. Il cite en particulier les cubilots de Hinton, de Wilson, de Richard Canham, de Summerson, de Woodwoard, de Maillard, le cubilot de l'École des arts et métiers d'Angers, installé il y a quelques années, et, enfin, le cubilot dit de Voisin.

Ce cubilot et le précédent se distinguent particulièrement de la plupart des autres cubilots employés jusqu'ici en France par l'application d'un mode spécial d'introduction du vent.

Il suffit, sur les anciens cubilots, d'établir la caisse à vent usitée depuis longtemps en Allemagne, d'y placer les tuyères d'une façon judicieuse, et l'on aura un cubilot Voisin. La plupart des fondeurs ne peuvent pas ou ne veulent pas se donner la peine d'étudier le mode le plus parfait d'introduction de l'air dans leurs cubilots, aussi s'adressent-ils souvent aux concessionnaires du brevet Voisin lorsqu'ils désirent modifier leur cubilot.

Les cubilots sans tuyères sont encore peu connus en France.

Un de ces appareils, le cubilot de Mackenzie, très-employé dans l'Amérique du Nord, est excessivement simple. Il se compose d'une cuve cylindrique terminée par des étalages séparés des parois du creuset par une fente circulaire par laquelle l'air qui se trouve dans le conduit à vent entourant les étalages vient pénétrer dans le four.

Le four repose tout entier sur des colonnes en fer de $0^{m}.95$ de hauteur. Pendant le travail, le creuset est fermé à l'aide d'une plaque à coulisse ou à charnière garnie d'argile à l'intérieur formant la sole.

Le système régulier et continu d'introduction du vent dans cet appareil sera troublé dès que, par suite d'une négligence quelconque, il se formera à l'extrémité des étalages des dépôts de scories ou de fonte solidifiée venant obstruer la fente comprise entre les étalages et le creuset.

Le cubilot sans tuyères le mieux étudié est le cubilot de Krigar.

Ce four est très-employé en Angleterre et en Allemagne, où il remplace dans toutes les installations le four d'Ireland. La cuve du four se termine par un petit étalage sur deux ou quatre côtés, puis pénètre dans un creuset rectangulaire de même largeur que la cuve, mais beaucoup plus long et s'étendant en façon d'avant-creuset. Le vent, amené par deux porte-vents munis de clapets, pénètre dans un conduit entouré partie par le manteau de tôle, partie par les parois de la chemise. De là, il se rend dans la cuve, fortement surchauffé par deux fentes et qui sont placées à l'avant et à l'arrière. Ce four a été beaucoup modifié en Allemagne, au point de vue de sa construction. La forme est restée la même; il possède seulement un avant-creuset. Cet avant-creuset est à peu près indispensable, car dans ce cubilot le coke descend très-rapidement sans être brûlé à la partie inférieure, où il empêche d'accumuler toute la fonte liquide dont on peut avoir besoin.

On a réalisé avec ces cubilots une économie de combustible d'environ 35 p. 100 sur les autres procédés; le travail était beaucoup plus actif : ainsi,

Digitized by Google

à la fonderie Krigar, près de Hanovre, on passait par heure 3,000 kil. de fonte dans un four n'ayant que 0m.78 de large.

A égalité de travail avec d'autres fours, on diminue le personnel d'un ouvrier fondeur.

Pendant le cours même du travail, le vent est surchauffé dans l'appareil lui-même et l'on ne s'est nullement ressenti des divers désavantages qui ont fait renoncer à l'emploi de l'air chaud dans les cubilots.

La fonte obtenue possède un degré de liquidité qui convient particulièrement, quand on veut effectuer des travaux délicats. Elle est quelquefois si fortement surchauffée qu'on est obligé de laisser refroidir certaines fontes, lorsqu'on vient de les puiser avant de pouvoir les couler. Ainsi donc, on réalise avec ce cubilot, une économie notable sur le combustible et la main-d'œuvre; le produit obtenu est excellent, et si l'on considère qu'un cubilot quelconque peut facilement être transformé, selon le système Krigac, on ne s'étonnera pas de voir l'emploi de cet appareil se répandre aussi rapidement à l'étranger.

M. Salomon décrit ensuite quelques cubilots portatifs, les cubilots de la fonderie Wedding de Berlin, et le cubilot de la fonderie de canons de Spandau. Le creuset de ces deux fours repose sur un chariot pouvant circuler dans l'intérieur de la halle de fonderie, de façon que ce creuset sert à opérer la coulée.

Ces petits appareils, de construction coûteuse, ne sont guère utiles que si l'on a à faire journellement des petites réparations, où dans des fonderies installées d'une façon provisoire.

M. le Président remercie M. Salomon de sa communication.

M. le Président prie M. Mallet de donner communication à la Société d'un travail de M. Carron sur la détente des fluides; la lecture de cette Note pourra servir utilement d'ouverture à la discussion sur l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives qui est à l'ordre du jour.

M. Carron a pris pour motif d'introduction à son travail, un point de la discussion qui a eu lieu l'année dernière au sujet de la machine à air comprimé de M. Mékarski; le détendeur donne-t-il ou non lieu à une perte de travail?

Gay-Lussac a constaté que si on visse l'un sur l'autre deux ballons l'un plein d'air comprimé, l'autre vide et si on les met en communication en ouvrant le robinet qui les sépare, l'équilibre de pression se produit sans que la température varie.

Par des raisonnements dérivés de cette expérience fondamentale, on arrive à conclure que l'air passe dans le détendeur sans rien perdre de son pouvoir mécanique, car, ce qu'il a perdu en pression, il l'a gagné en chaleur qui se joint à la pression dans son emploi ultérieur sur les pistons, pour reconstituer un travail mécanique qui sera le même que si l'air du réservoir avait travaillé sans passer par le détendeur.

Arrivant au sujet principal de son étude, M. Carron croit pouvoir affir-

Digitized by Google

mer que les étranglements ne sauraient être une cause de perte dans la transmission du travail, lorsqu'il n'y a pas de chaleur latente à développer, cas des gaz, ou lorsque cette chaleur latente est antérieurement acquise, cas des vapeurs. S'il y a des frottements, on ne pourrait penser qu'ils sont une raison de perte que si on admettait qu'ils sont suivis de refroidissement, ce qui heurte toutes les idées qu'on peut avoir eues jusqu'ici sur les résistances passives.

Thomas ne craignait pas, dans son cours à l'École centrale, d'affirmer le peu d'influence des étranglements au point de vue du rendement; il conseillait de faire agir le régulateur d'une machine sur la valve plutôt que sur la détente, parce que la valve étrangle la vapeur et diminue sa pression sans diminuer le rendement.

Ces considérations amènent M. Carron à discuter la préférence que bien des personnes semblent actuellement disposées à accorder aux machines des systèmes Corliss, Sulzer, Inglis, etc.

Il lui semble qu'en présence des complications des mécanismes de distribution qui distinguent ces machines, il faudrait que des expériences indiscutables en établissent la supériorité de rendement.

Un mot en passant sur les machines Compound, et particulièrement sur celles qui possèdent un réservoir intermédiaire; il n'y a pas trop à se préoccuper de la chute de pression de la vapeur qui sort du petit cylindre pour entrer dans le réservoir; il faut avant tout chercher à compenser les espaces nuisibles et fermer brusquement l'admission, car celle-ci étant très-prolongée dans un cylindre comme dans l'autre, l'effet d'une fermeture lente sera assez sensible.

On gagnerait certainement beaucoup à réchauffer la vapeur dans le réservoir. L'expérience des enveloppes de vapeur et des machines à air chaud montre que la chaleur communiquée à des gaz ou vapeurs est suivie d'un haut rendement mécanique.

Thomas indiquait, comme meilleur moyen de surchauffer la vapeur, la chute de pression de la chaudière au cylindre, et admettait comme nulle la perte qui se produit à l'étranglement.

On ne se figure pas ordinairement ce que la vapeur perd de pression avant d'arriver sur le piston; s'il en résultait un inconvénient sérieux, les machines à vapeur seraient bien peu économiques.

M. Carron cite une expérience qu'il a faite sur la machine d'une soufflerie de hauts fourneaux, où il a constaté qu'une réduction considérable de la pression de régime aux chaudières, n'entraînait ni un abaissement notable de l'ordonnée moyenne du diagramme d'indicateur, ni une modification sensible dans la dépense de vapeur.

On peut donc conclure au peu d'importance des étranglements, des chutes de pression, et dire que s'il y a des pertes, elles ne sont pas sensibles dans la pratique avec les dispositifs la plupart du temps employés.

M. Carron termine en revenant sur les distributions compliquées qui ne lui paraissent pas présenter de garanties sérieuses; l'économie réalisée par ces

Digitized by Google

dispositions, fût-elle même parfaitement constatée, ne serait-elle pas bien vite plus que compensée par les réparations incessantes qu'exigent des mécanismes aussi complexes?

M. Mallet croit devoir faire suivre cette communication de quelques observations; il admet très-volontiers pour sa part que l'étranglement de la vapeur n'entraîne pas *directement et de ce seul fait* une perte de rendement; il lui semble toutefois que les raisonnements sur lesquels ou s'appuie pour démontrer ce point, tout au moins en ce qui concerne les gaz permanents, manquent de netteté. On cite toujours, en effet, l'expérience rappelée plus haut de Gay-Lussac, ou des expériences analogues dans lesquelles l'abaissement de pression a lieu instantanément par la mise en communication de deux capacités contenant le gaz à des pressions différentes.

Il semble qu'il n'y a aucune assimilation à établir entre ce mode d'opérer et la réduction de pression qu'on détermine en faisant circuler le gaz à travers un orifice très-rétréci, ou dans une conduite très-longue; la résistance que doit surmonter le fluide ne constitue-t-elle pas, dans ce cas, un véritable travail analogue à celui qui a lieu dans les conduites d'eau, et ce travail ne doit-il pas correspondre à une dépense effective de chaleur? M. Carron a, du reste, soin d'introduire des réserves à ce sujet dans son travail, car il ajoute prudemment : « Oserait-on affirmer qu'après avoir étranglé, torturé, chicané en tous sens un courant de vapeur, on aura conservé intacte sa puissance mécanique! A coup sûr ce serait beaucoup de témérité. »

Cette réserve faite, il est bien certain qu'en pratique la perte résultant de l'étranglement, si perte il y a, sera bien moindre, au moins pour des machines présentant de grandes différences entre les pressions motrice et résistante, que la diminution du rendement occasionnée par des expansions exagérées ou effectuées sans précautions spéciales. On peut vérifier ce fait tous les jours dans la pratique.

M. Régnard ne croit pas qu'il soit possible d'assimiler ce qui se passe pour l'eau, avec ce qui a lieu dans le cas d'un écoulement de gaz ou de vapeur. En effet, tout le monde admettra que s'il y a, du fait d'un frottement, une perte de puissance vive, celle-ci est transformée en chaleur. A-t-on affaire à de l'eau, elle subira une élévation de température trop faible sans doute pour être appréciée, et en tout cas absolument perdue et incapable de restituer le travail qu'elle représente. Avec du gaz ou de la vapeur, il en est tout autrement, car, si en un point il tend à se produire par le frottement une élévation de température, celle-ci, en se communiquant au gaz ou à la vapeur, les dilate et régénère ainsi le travail dépensé, et cela théoriquement en totalité.

M. Leloutre est d'accord avec M. Carron sur le peu d'influence des étranglements ou des chutes de pression qui en sont la conséquence. La perte qui en résulte n'est nullement proportionnelle à la diminution de pression constatée; le travail de la machine est réduit, mais le rendement de la vapeur n'est diminué que de très-peu. Du moment qu'il n'y a pas de

Digitized by Google

travail externe rendu au passage de l'étranglement, la vapeur se surchauffe spontanément en tombant d'une pression P à une autre plus petite p; mais comme d'ordinaire la vapeur renferme une notable proportion d'eau entraînée ou condensée dans les tuyaux, il y aura une petite évaporation de cette eau vésiculaire, et on ne peut constater dans l'espace qui suit l'étranglement, une température plus élevée que celle qui correspond à la vapeur supposée à l'état de saturation sous la pression p.

Il y a, d'ailleurs, une autre raison à donner pour établir le peu d'influence des pertes de pression provenant d'orifices réduits sur le rendement économique des moteurs à vapeur

La densité δ de la vapeur saturée est donnée très-exactement par la relation suivante :

$$\delta = 0{,}6061\ p^{0{,}9393}$$

p étant la pression en atmosphères.

A 5 atmosphères $\delta = 2{,}7500$, et à 2,5 atmosphères $\delta = 1{,}4345$.

L'exposant de p différant peu de l'unité, la densité peut être considérée comme étant proportionnelle à la pression, au moins dans les limites de pressions usitées. Si donc on suppose qu'un étranglement ait fait tomber la vapeur de 5 à 2,5 atmosphères, la vapeur que l'on dépensera dans le cylindre aura une densité deux fois plus petite, mais présentera un volume deux fois plus grand qu'avant le passage étranglé. Le travail ainsi rendu étant proportionnel au produit de la pression par le volume de vapeur dépensé, il en résulte que le travail d'un même poids de vapeur reste sensiblement constant qu'il soit dépensé sous la pression P avant l'étranglement ou sous la pression p qu'il a après cet étranglement.

Des expériences très-précises ont d'ailleurs établi cette manière de voir.

M. Roy rappelle le fait bien connu des conducteurs de locomotives qui, ayant à marcher sur des rails gras, diminuent la détente et serrent le régulateur. Cette manœuvre occasionne une diminution de pression de la vapeur sur les pistons; mais en augmentant la période d'admission, on a le même poids de vapeur dépensé, et par suite sensiblement le même travail produit, avec cet avantage que, l'effort de la vapeur sur les pistons ayant été exercé d'une manière plus régulière qu'avec une petite admission à forte pression et une grande détente, on évite les secousses d'une très-forte pression momentanée et la machine a une moins grande propension à patiner.

M. Gillot dit que le principe de la transformation du travail en chaleur et réciproquement est erroné, et que tout les raisonnements basés sur ce principe sont par cela même sans valeur.

M. Douau dit que le travail présenté par M. Mallet a montré, d'une façon indiscutable, l'importance que présentait l'étude de l'utilisation de la vapeur dans les machines, et les nombreuses recherches faites, à ce sujet, ont prouvé combien étaient grandes les difficultés que l'on rencontrait pour

Digitized by Google

parvenir à se rendre compte des phénomènes multiples et complexes qui se produisent pendant la période d'action de la vapeur agissant dans un cylindre.

Si nous analysons les études faites sur cette question, nous remarquons que, jusqu'à ces dernières années, on avait admis que la vapeur introduite dans un cylindre reste à l'état de *vapeur saturée*, et que si elle se détend elle se comporte comme un gaz, et suit la loi de Mariotte.

M. Clausius énonça le premier le principe suivant que : *lorsqu'une vapeur saturée se dilate, il doit s'en condenser une partie*, par cette raison que, s'il y a dilatation, le travail intérieur, qui en est la conséquence, absorbe une certaine quantité de chaleur; il y a absorption de chaleur transformée en travail, et une certaine quantité de vapeur se trouve condensée; la pression résultante se trouve, par suite, être inférieure à celle de la loi de Mariotte. Ces faits furent démontrés expérimentalement par M. Hirn.

M. Hudelo, dans une étude des travaux de MM. Clausius et Zeuner, en a déduit les formules suivantes, donnant les relations entre les volumes et les pressions de la vapeur, pendant le travail de détente :

$$V_1 = \left(\frac{P}{P_1}\right)^{0,9647} \left(\frac{272,8512+T_1}{272,8512+T}\right) \left(\frac{1091,7055-T}{1091,7055-T_1}\right)^{0,636142}, \qquad (1)$$

$$X = 1 - \left(\frac{P_1}{P}\right)^{0,03253} \left(\frac{1091,7055-T}{1091,7055-T_1}\right)^{0,636142}. \qquad (2)$$

Formules dans lesquelles on désigne par :

V le volume initial de la vapeur,
P la pression initiale de la vapeur,
T la température initiale de la vapeur,
V_1, P_1, T_1 les mêmes éléments après la détente.

La première formule permet de déterminer la courbe des pressions, sans avoir égard aux actions externes provenant du cylindre, et en supposant la vapeur sèche; la seconde donne la fraction de condensation de la vapeur dans les mêmes conditions.

Le tableau ci-dessous permet de se rendre compte des différences qui existent entre les pressions réelles calculées et celles correspondantes à la loi de Mariotte ; pour des degrés variables de détente, la condensation de vapeur s'y trouve également indiquée.

Digitized by Google

VALEUR DE $\frac{z}{z_0}$.	PRESSIONS d'après la loi de Mariotte.	PRESSIONS CALCULÉES P_1.	CONDENSATION X.
	kil.	kil.	
1	51.642	51.642	»
1.25	40.840	39.710	0.015
1.50	34.433	32.090	0.027
2	25.821	23.075	0.0445
3	17.214	14.420	0.069
4	12.910	10.350	0.084
5	10.328	7.910	0.097
6	8.607	6.540	0.106
7	7.377	5.540	0.114
8	6.455	4.775	0.121
9	5.738	4.150	0.126
10	5.164	3.675	0.131
12	4.304	3.000	0.139
15	3.443	2.345	0.150
20	2.581	1.715	0.162

En pratique, les phénomènes ne se passent pas aussi simplement; si en effet, par une cause quelconque, la température du cylindre se trouve être inférieure à celle de la vapeur affluente, il se condense une certaine quantité de vapeur jusqu'à ce que l'équilibre de température soit établi.

Pendant l'échappement, la vapeur condensée se vaporise en empruntant à la paroi métallique la chaleur nécessaire; de telle sorte que cette opération se renouvelle à chaque coup de piston, et il y aura une notable quantité de vapeur qui traversera la machine sans produire de travail. Il faut tenir compte également de l'eau entraînée mécaniquement, et qui produit une perte du même genre que la précédente.

Les difficultés sont grandes pour arriver à déterminer les pertes de vapeur dues aux condensations intérieures. Les formules de physique sur la conductibilité ne permettent pas d'obtenir un résultat même approché. Nous trouvons cependant une expérience précise de Clément Desormes, sur des parois métalliques épaisses, correspondant à celles des cylindres; il a établi, qu'il se condense $0^k,02$ d'eau par mètre carré et par minute pour une différence de température de 70°. Certains auteurs, notamment M. de Fréminville, admettent que pour des différences de température autres que celle de l'expérience de Clément Desormes, la quantité de vapeur condensée est proportionnelle à celle trouvée par l'expérience, c'est-à-dire qu'elle pourra être représentée par:

$$P = 0,02 \times \frac{D}{70^0}.$$

Si on désigne par :

d le diamètre du piston d'une machine,
l la course du piston d'une machine,
n le nombre de tours par minute.

Digitized by Google

La perte par condensation par heure s'exprimera par :

$$P = 0{,}02 \times \frac{D}{70^0} \left(\frac{\pi d^2}{2} + \pi dl \right) \times 2n \times 60.$$

On néglige toutefois les condensations sur la tige du piston.

En nous plaçant dans le cas d'une locomotive fonctionnant dans les conditions suivantes :

Pression de la vapeur.	9 atmosphères.
Diamètre du piston.	$0^m.40$
Course du piston.	$0^m.60$
Admission.	$\frac{1}{4}$ de la course.

On trouve que la vapeur condensée est de 22 grammes par coup de piston; la consommation théorique étant de 55 grammes, celle *réelle est* donc de 77 grammes, c'est-à-dire qu'il y a une perte de près de 50 p. 100.

Il est bon de remarquer que cette quantité d'eau condensée correspond à une couche d'une épaisseur de moins d'*un quarantième de millimètre* sur les parois.

Lorsque la vapeur se condense sur des parois froides, on indique souvent que la pression est toujours celle qui correspond au point le plus refroidi. M. le général Morin fait, à ce sujet, une remarque importante, c'est que la tension n'est la même en tous les points qu'après un certain temps, et que, dans le cas où la vapeur est en mouvement rapide, comme dans les machines, cet équilibre n'existe jamais.

Il en résulte donc une difficulté nouvelle dans les évaluations que l'on peut avoir à faire, lorsque l'on considère une machine à vapeur, et il en ressort toute l'importance que les expériences présentent pour les études sur ce sujet.

M. Mallet rappelle que dans sa note M. Carron a signalé l'avantage qu'il y aurait à réchauffer la vapeur dans le réservoir intermédiaire des machines Compound. Il tient à indiquer que ce réchauffage est pratiqué depuis plus de quinze ans; l'avantage qu'on en retire est surtout appréciable si le réchauffage est gratuit, comme dans le cas où on l'opère au moyen des gaz chauds sortant des tubes pour aller dans la cheminée. Il y a toutefois une observation à faire à ce sujet. Il faut éviter avec le plus grand soin que les dispositions employées pour le réchauffage de la vapeur entre les deux cylindres ne conduisent à un accroissement des résistances que le fluide moteur éprouve dans son passage, car on perdrait rapidement par cette résistance le bénéfice du réchauffage. La nécessité d'une communication large et directe entre les deux cylindres est capitale, et on peut citer des constructeurs distingués de machines Compound qui l'apprécient tellement qu'ils n'ont jamais voulu risquer de la compromettre en employant des dispositions propres à effectuer le réchauffage intermédiaire. M. Mallet se réserve, d'ailleurs, de revenir en temps et lieu sur cette question, qui est

Digitized by Google

une des plus intéressantes parmi celles que soulève l'étude des machines Compound.

M. Armengaud jeune fils dit, qu'il était important et indispensable dans une discussion de ce genre, de faire intervenir cette loi de la thermodynamique, découverte théoriquement par Clausius, et vérifiée expérimentalement par Hirn, à savoir : que la détente de la vapeur en travail est toujours accompagnée de la condensation d'une partie notable de cette vapeur.

Quand il y a travail développé, il y a disparition de chaleur, et par suite refroidissement de l'agent physique employé, gaz ou vapeur. Mais, tandis qu'un gaz permanent ne fait que se refroidir, la vapeur ne peut se refroidir sans se condenser. Cette condensation est la conséquence fatale de la manière d'être de la vapeur, un phénomène inhérent à sa propre constitution. On ne peut donc pas la considérer comme une perte proprement dite, puisque le refroidissement qui l'a engendrée représente précisément l'équivalent du travail développé à raison de 424 kilogrammètres par calorie.

Quant à l'enveloppe de vapeur, sans doute elle fait obstacle à cette condensation, en permettant la vaporisation de l'eau précipitée, mais c'est au détriment d'une certaine dépense de chaleur. Elle ne compense pas une perte de vapeur, elle utilise autrement la chaleur produisant le travail. On raisonne ici, bien entendu, dans l'hypothèse d'un cylindre idéal, c'est-à-dire, sans tenir compte des autres causes de condensation si bien expliquées dans le communication de M. Mallet.

M. Badois dit que les diagrammes, loin d'indiquer une condensation de vapeur, font voir, au contraire, au moins dans les machines sans enveloppes, qu'il y a augmentation du poids de vapeur pendant la détente par suite de la vaporisation, pendant cette période, de l'eau qui s'est condensée pendant l'admission.

M. Mallet fait observer que M. Armengaud a supposé une machine idéale, dans laquelle la détente s'effectue sans perte ni gain de chaleur par causes extérieures, tandis que M. Badois raisonne sur une machine matérielle où l'influence calorifique inévitable des parois du cylindre se fait sentir. Il y a donc malentendu. Du reste, les effets signalés par chacun de ces messieurs se rencontrent quelquefois simultanément dans le fonctionnement des machines. Il peut, et même il doit arriver que dans de grands cylindres il y ait dans la masse de vapeur condensation par suite du travail pendant la détente, tandis que sur les parois du cylindre il y a production de vapeur.

M. Mallet profitera de l'observation que vient de faire M. Armengaud pour insister sur l'effet réel de l'enveloppe de vapeur qui a été si longtemps méconnu. Cet effet consiste à maintenir la température des parois du cylindre de manière sinon à supprimer du moins à atténuer considérablement la condensation de vapeur pendant l'admission, mais à la maintenir par une fourniture *extérieure* de calorique, la condensation correspondante à cette fourniture se produisant *hors du cylindre*, dans une capacité à *pres-*

Digitized by Google

sion fixe, où il ne peut pas se produire une révaporisation ultérieure qui enlèverait la chaleur déjà fournie au cylindre.

Il est à remarquer que les deux points de départ essentiels des progrès réalisés depuis quelques années dans les machines à vapeur, l'enveloppe et la détente en cylindres séparés, remontent à l'origine même de la machine à vapeur, à cent ans environ. La patente de J. Watt, où l'emploi de l'enveloppe est indiqué, est de 1767; celle d'Hornblower, pour la machine à double cylindre, est de 1781. Il est peu probable que ce dernier ait prévu tous les avantages de la détente en cylindres séparés, et il est permis, sans manquer de respect à la mémoire de l'illustre ingénieur, de supposer que Watt ne se rendait pas compte du rôle complet de l'enveloppe, car dans le texte même de sa patente, il assimile son emploi pour conserver la chaleur du cylindre à celui d'une enveloppe en bois ou autre matière peu conductrice, *a case of wood or any material that transmits heat slowly*. Ces perfectionnements ont donc joué un rôle que ne prévoyaient pas leurs auteurs, et la thermodynamique n'a eu ici, comme toujours du reste en ce qui concerne les machines à vapeur, qu'à suivre la pratique et à justifier les dispositions adoptées, pour ainsi dire, d'instinct par les constructeurs. Il est bon de dire, d'ailleurs, que l'enveloppe ne pouvait avoir un grand effet dans les machines de cette époque, fonctionnant à de très-basses pressions et avec très-peu de détente.

Les successeurs de Watt firent des enveloppes de vapeur à son imitation jusqu'à ce que, s'étant mis à réfléchir sur l'effet de ces enveloppes au point de vue du but qu'on les supposait appelées à remplir, c'est-à-dire, pour garantir le cylindre contre le refroidissement *extérieur*, on s'aperçut que le rayonnement de l'enveloppe en raison de la plus grande surface est nécessairement plus considérable que celui du cylindre qu'elle est destinée à protéger.

Il y eut alors une réaction contre les enveloppes qui furent abandonnées; on peut citer Tredgold parmi un de ceux qui contribuèrent le plus à ce résultat.

Ce n'est que bien plus tard, qu'on reconnut le rôle véritable de l'enveloppe. Il est juste, toutefois, de dire que les constructeurs des machines à balancier de Woolf persistèrent toujours à conserver ces appendices dont, sans bien apprécier le mode d'action, ils pouvaient constater les bons effets.

M. Mallet désire relever un passage du travail de M. Carron, dans lequel celui-ci signale le peu d'influence de la réduction des orifices du cylindre; il serait dangereux d'aller trop loin dans cette voie, car il est facile de voir sur les diagrammes d'indicateur quelle est la chute de pression qui se produit avec des orifices très-peu ouverts et avec de grandes vitesses de pistons. En admettant que le rendement de la vapeur n'en soit que peu affaibli, il n'en est pas moins vrai que le travail absolu de la machine est considérablement réduit et par suite le rendement de l'*appareil*, car si une machine a été établie pour développer 50 chevaux, il y a une perte d'utilisation des capitaux engagés à ne lui en faire faire que 25.

Digitized by Google

M. Mallet met sous les yeux des membres de la Société des diagrammes relevés sur des machines locomotives à des vitesses et des introductions différentes; il a construit au moyen de ces diagrammes les diagrammes des poids dont il a parlé dans la séance du 19 janvier et dont, sur l'invitation de M. le Président, il explique de nouveau la construction.

Ces diagrammes de poids donnent des indications beaucoup plus précises que les diagrammes de pression sur les instants de fermeture des lumières. On remarque que la durée de l'admission est toujours notablement plus grande que celle qui est prévue; cet effet s'explique facilement par le retard que donnent au tiroir, sous l'action de la pression considérable qu'il reçoit de la vapeur, les jeux des articulations et l'élasticité des pièces de la transmission.

M. Mallet insiste tout particulièrement sur les résultats donnés par une petite machine d'expérience, où on peut voir que la dépense de vapeur, avec des expansions tout à fait exagérées, dépasse le double de celle qui correspondrait à la marche à introduction pendant toute la course.

Les expériences qu'on a faites jusqu'ici, malgré leur intérêt, ne sont malheureusement pas complètes et il serait bien à désirer de les voir reprendre. Il serait surtout utile de bien préciser l'importance de l'entraînement d'eau. La méthode calorimétrique de M. Hirn, qui a donné de très-bons résultats pour les machines fixes, semble malheureusement trop délicate pour être appliquée aux locomotives.

M. Leloutre désirerait également qu'on déterminât la quantité d'eau entraînée dans le cylindre des locomotives ainsi que le refroidissement interne, externe du cylindre et le refroidissement interne de ses parois pendant l'échappement. Ces éléments étant déterminés, il serait possible de trouver à 1 ou 2 pour 100 près par les diagrammes seuls la dépense de vapeur et d'eau par coup de piston et sans qu'il soit nécessaire de jauger l'eau d'alimentation.

On pourrait ainsi analyser tous les effets thermiques et dynamiques qui se passent pendant le travail.

La détermination de ces quantités présente de grandes difficultés, mais M. Leloutre ne les croit pas insurmontables.

M. J. Morandiere rappelle que dans les locomotives on admet la vitesse de trois tours environ par seconde comme étant celle qui correspond au meilleur rendement de la machine. Il demande s'il est possible de déduire de l'inspection des diagrammes dont M. Mallet a entretenu la Société l'influence de la vitesse sur l'utilisation de la vapeur dans le cylindre.

M. Mallet rappelle que l'influence de la vitesse de fonctionnement des appareils est multiple. Il laissera de côté le rôle qu'elle joue, dans les locomotives et, en général, dans les machines où le tirage s'effectue par l'échappement, sur la production de la vapeur, question qui n'est pas en discussion, puisqu'il s'agit ici exclusivement de l'utilisation de la vapeur; il ne parlera pas non plus de l'influence avantageuse d'une grande vitesse de rotation sur les dimensions des organes qui servent à développer ou à trans-

Digitized by Google

mettre la puissance motrice, cylindres et mécanisme, pour n'examiner que l'action de la vitesse sur l'utilisation de la vapeur et de la machine.

Lorsqu'on étudie les phénomènes de la condensation interne dans les cylindres, on est porté à attribuer une certaine influence à la vitesse et on croit généralement que les condensations sont d'autant moindres que l'appareil tourne plus vite, les autres conditions restant les mêmes. Il est bien constaté, d'ailleurs, qu'avec les machines à allure très-lente, ces condensations atteignent de très-grandes valeurs, mais dans les limites de fonctionnement des machines locomotives, soit entre 60 et 200 tours par minute, il ne paraît pas que l'influence de la vitesse soit appréciable. C'est ce qui résulte des expériences de Gooch, de Clark, de Bauschinger, ainsi que de l'inspection des nombreux diagrammes que M. Mallet a eus entre les mains.

Mais, à un point de vue un peu différent, l'influence de la vitesse est défavorable en ce qu'elle diminue le rendement de l'appareil dans une grande proportion. Un diagramme relevé à la vitesse de 200 tours et un à la vitesse de 60 tours présenteraient, à pression et admission égales, une différence d'un tiers au moins entre leurs aires. Il y a donc réduction absolue du travail; l'inconvénient n'est pas grand en général dans les locomotives, parce que lorsqu'on va très-vite on n'a pas besoin d'efforts considérables; mais le principe n'est pas moins vrai. On se fie généralement à ce que les vitesses de la vapeur sont toujours énormes par rapport aux vitesses maxima du piston, mais il ne faut pas oublier que les sections des passages ouverts arrivent souvent à n'être qu'une fraction très-minime de l'aire du piston, et que la vitesse de circulation de la vapeur devient nécessairement très-grande. Il ne semble donc pas qu'on doive exagérer sans motif la vitesse de rotation des machines, mais il est difficile de rien préciser à cet égard, attendu que, dans les locomotives tout au moins, la vitesse des pistons est fixée par des considérations étrangères à la question du fonctionnement de l'appareil comme machine à vapeur.

MM. Daix, Émonin, Gillon, Godefin, Hanrez, Lagarde, Leroide, Olive, Pastor, Philipp Schirmer et Violette ont été admis comme membres-sociétaires.

Digitized by Google

NOTE

SUR LE SERVICE

DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

DES

CHEMINS DU SUD DE L'AUTRICHE

ET EN PARTICULIER

SUR L'EXPLOITATION DU SEMMERING ET DU BRENNER

PENDANT LES ANNÉES 1872, 1873, 1874 ET 1875.

PAR M. A. GOTTSCHALK.

Depuis la note de janvier 1873, faite en vue de l'Exposition universelle de Vienne et qui ne pouvait comprendre que les résultats antérieurs à l'année 1872, nous nous sommes abstenu de publier le compte rendu de nos opérations.

Bien que nous n'ayons rien de bien saillant à signaler, nous avons cependant pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de faire connaître les résultats obtenus pendant les quatre dernières années sur un réseau, qui peut à bon droit passer pour un des plus accidentés de l'Europe.

Les résultats d'exploitation des sections difficiles du Semmering, du Brenner, du Pusterthal (Villach à Franzensfeste) et de St-Peter à Fiume présentent d'ailleurs un intérêt tout particulier au moment où, de tous côtés, on est conduit, pour compléter le grand réseau européen, à construire des lignes de plus en plus accidentées.

Aussi espérons-nous que la présente publication recevra l'accueil bienveillant qui a été fait à celles précédentes.

Pour faciliter la comparaison nous suivrons l'ordre adopté dans nos communications antérieures et nous annexerons à notre compte rendu

Digitized by Google

les profils en long des lignes avec indications des longueurs, proportions des déclivités et courbes, rampes maxima et rayons de courbure minima des différentes sections du réseau.

COMPTE RENDU

DES RÉSULTATS D'EXPLOITATION OBTENUS EN 1872, 1873, 1874 ET 1875.

Ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements.

Les tableaux n° 1 et 2 indiquent, en les comparant à ceux des années précédentes, les résultats obtenus de 1872 à 1875, sur la ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements.

Ils constatent, avec l'aide du tableau n° 16, que si les prix de revient par kilomètre de train ont été pour les quatre dernières années supérieurs à ceux des années précédentes, cela tient, d'une part, à l'accroissement des charges moyennes des trains de marchandises et, d'autre part, à l'augmentation de parcours des trains de voyageurs relativement aux parcours des trains de marchandises. C'est qu'effectivement l'Exposition universelle de 1873, qui a eu pour effet le renchérissement anticipé des prix de main-d'œuvre et de matières, n'a pas répondu, comme transport de marchandises, aux espérances qu'on avait formées; et que, d'autre part, la crise financière qui sévit en Autriche depuis le mois de mai 1873, a exercé une influence néfaste sur le commerce et l'industrie et par suite sur le transport des marchandises.

L'influence du parcours relativement plus grand des trains de voyageurs se fait particulièrement sentir sur les prix par tonne kilométrique.

Elle eût été encore plus considérable, si nous n'avions eu pour la contrebalancer les excellents résultats obtenus sur le Karst par la substitution de machines à 8 roues couplées, avec tenders séparés, aux machines-tenders à 6 roues employées précédemment.

Digitized by Google

Pour en donner une idée, il suffira de dire qu'en 1875 la substitution des machines en question a produit sur le prix de traction proprement dit une économie de près de 250,000 francs sur le prix correspondant de 1874.

Il suffirait de quelques années analogues pour amortir rapidement le prix d'achat des machines à 8 roues.

En prenant pour point de départ les résultats de l'année 1867 qui nous ont été laissés par notre habile prédécesseur et qui étaient, à juste titre, considérés comme très-favorables, nous voyons en somme que la charge moyenne de trains a passé de. 177t.35
qu'elle était en 1867 à. . . . . 207 .65
soit une augmentation de. . . . . 17 %
tandis que l'augmentation du prix de revient du kilomètre de train, 1f.070 en 1875 par rapport au prix correspondant de 1867 n'a été que de. . . . . 10 %.

Par contre, le prix de la tonne kilométrique de charge brute qui était de. 0f.005486
en 1867, est descendu en 1875 à. . . . . 0 .005153
soit une diminution encore très-notable de. . . . . 6 %
en faveur du dernier exercice.

En examinant les sous-détails du prix de revient par kilomètre de train, on voit que les dépenses du chapitre « Conduite » ont été dans les dernières années en augmentant jusqu'à 1873, où elles ont atteint leur maximum, ce qui s'explique par l'augmentation des salaires et en général de la main-d'œuvre sans cesse croissante jusqu'en 1873, et sans variation bien notable depuis cette époque.

Les dépenses de combustibles ont été depuis 1871 sans cesse en diminuant, pour atteindre en 1875 un minimum inconnu depuis 1869, époque à laquelle nous avions proportionnellement beaucoup moins de trains de voyageurs que dans ces quatre dernières années.

Cela tient en même temps aux prix plus favorables des combustibles et à une meilleure utilisation de ces derniers due en grande partie à l'agrandissement constant des foyers de nos machines.

En ramenant, comme toujours, les quantités et prix des différents lignites employés sur notre réseau, et dont la puissance calorifique varie de 47 à 70 pour 100 de la puissance calorifique de la houille, à des quantités proportionnelles de coke de Witkowitz (bassin de Silésie), qui est

Digitized by Google

notre unité de comparaison, on trouve que nous avons brûlé par kilomètre de train moyen :

En 1867	l'équivalent de	13k.26	de coke de Witkowitz.
1868	—	13 .8	—
1869	—	14 .1	—
1870	—	14 .5	—
1871	—	16	—
1872	—	15 .2	—
1873	—	15 .4	—
1874	—	14 .7	—
1875	—	14 .3	—

En divisant les quantités précédentes par les charges correspondantes des trains moyens, on trouve par contre que, pour chaque tonne kilométrique de charge brute, nous avons brûlé :

En 1867	l'équivalent de	0k.07479	de coke de Witkowitz.
1868	—	0 .07271	—
1869	—	0 .06966	—
1870	—	0 .07242	—
1871	—	0 .07558	—
1872	—	0 .07200	—
1873	—	0 .07345	—
1874	—	0 .07138	—
1875	—	0 .06899	—

Quant au prix moyen du combustible il a atteint, pour l'équivalent d'une tonne de coke de Witkowitz :

21f.725	en 1867
20 .010	1868
18 .535	1869
18 .815	1870
19 .710	1871
20 .83	1872
20 .17	1873
19 .91	1874
18 .90	1875

Digitized by Google

Il en résulte que la dépense correspondante par tonne kilométrique de charge brute a été de :

0f.001625	en 1867
0.001455	1868
0.001291	1869
0.001362	1870
0.001489	1871
0.001500	1872
0.001481	1873
0.001427	1874
0.001304	1875

Les dépenses de graissage ont été sans cesse en diminuant avec le prix des huiles depuis 1871.

Les dépenses d'alimentation d'eau ont au contraire été toujours croissantes depuis la même époque, par suite de l'augmentation de la main-d'œuvre, de la diminution des quantités d'eau vendues à des tiers, et notamment des dépenses supplémentaires de préparation de l'eau dans la première division de traction. La dépense de ce chapitre par kilomètre de train en 1875 est cependant encore inférieure à la dépense correspondante de 1867 et par suite, aux dépenses similaires des années précédentes.

L'ensemble du chapitre « Frais généraux » pour machines et véhicules est resté sensiblement constant depuis 1868, et inférieur aux dépenses analogues de 1867.

Les dépenses de réparation des machines ont été sans cesse en augmentant avec l'âge du matériel, le renchérissement des prix de main-d'œuvre et de matières; ces deux dernières causes ont fait sentir tout particulièrement leur influence jusqu'en 1874; la dernière tend à disparaître depuis lors, tandis que les prix de main-d'œuvre restent sensiblement stationnaires depuis 1873, c'est-à-dire depuis le moment où ils ont atteint une augmentation moyenne de 15 pour 100 sur les prix de 1871.

Enfin les mêmes causes ont fait augmenter les dépenses d'entretien des véhicules.

Jusqu'en 1874, nous avions compensé ces augmentations, en attribuant au compte « Entretien » une partie des bénéfices réalisés sur le matériel neuf, construit dans nos ateliers avec une réduction de 15 à

Digitized by Google

20 pour 100 sur le prix des constructeurs; malheureusement depuis 1874 nous ne construisons plus de matériel neuf, mais, par contre, nous avons dû procéder dans ces dernières années à la reconstruction totale d'une partie des anciens véhicules provenant de l'État et dont la construction remontait à 20 ou 25 ans.

Les dépenses de reconstruction, sauf une part insignifiante représentant la substitution de longerons en fer, de ressorts nouveaux à menottes aux ressorts anciens, et de tendeurs aux chaînes d'attelage, ont été entièrement portées au compte « Entretien. »

Enfin en ce qui concerne particulièrement les voitures, les sacrifices, faits par la plupart des chemins de fer autrichiens et allemands en vue du confort des voyageurs, nous ont forcé, depuis 1874, à apporter plus de luxe dans les garnitures intérieures des voitures de 1re et 2e classe.

De là l'explication des augmentations des deux chapitres : « Entretien des Voitures et Wagons, » depuis ces dernières années et notamment en 1874 et 1875.

Avant de quitter ce chapitre, nous dirons une fois pour toutes que les frais de réparation des véhicules « Voitures et Wagons » ont été répartis, depuis 1872 entre les différentes sections au prorata des parcours des trains, en augmentant de 25 pour 100 leurs parcours dans les sections à grandes rampes du Semmering, du Brenner, de Lienz à Brunnek et de St-Peter à Fiume, pour tenir compte de l'usure plus grande des véhicules dans les sections difficiles où l'on fait constamment usage du frein.

Cette répartition qui n'a rien que de très-fondé n'avait pas de raison d'être avant 1872, parce qu'alors notre ligne du Tyrol était tout à fait isolée de la ligne principale, et que l'atelier d'Innsbruck travaillait alors exclusivement pour le Tyrol, tandis que, depuis l'ouverture de la ligne Villach-Franzensfeste (novembre 1871), les trois ateliers de Vienne, Marburg et Innsbruck travaillent indifféremment à la réparation de tous les véhicules, à l'exception du garnissage des voitures de 1re classe qui est réservé à l'atelier de Vienne.

Les frais de graissage des véhicules ont été répartis d'une manière analogue entre les différentes sections du réseau au prorata des parcours des véhicules sur ces différentes sections.

Les dépenses de ce chapitre qui s'étaient élevées considérablement en 1872 et 1873 ont, par suite de la diminution du prix des matières grasses, considérablement diminué en 1874 et 1875. Nous tendons à les régu-

Digitized by Google

lariser de plus en plus, en substituant peu à peu le graissage à l'huile au graissage à la graisse, qui avait été appliqué à la plupart des véhicules construits avant 1868.

Il résulte de cette analyse que, eu égard aux circonstances traversées depuis 1872, les résultats des quatre dernières années ne sont guère moins favorables que les précédents.

En somme le prix de revient par kilomètre d'un train moyen plus chargé est encore inférieur de 46,3 pour 100 au prix analogue de 1860.

Section du Semmering.

Les résultat obtenus de 1872 à 1875 par la traction et l'exploitation du Semmering se trouvent résumés dans les tableaux numéros 3, 4, 5 et 6, qui donnent en même temps les comparaisons avec les résultats correspondants des années précédentes.

Ainsi qu'on pouvait le prévoir, il a été impossible de maintenir le prix très-bas de 1f.327 auquel nous étions arrivé en 1871 pour le kilomètre de train simple.

Les mêmes causes que nous avons déjà analysées pour l'ensemble de la ligne principale ont produit à peu près les mêmes effets sur le prix d'exploitation de la section du Semmering, le développement proportionnellement plus grand du parcours des trains de voyageurs a contribué surtout en 1874, à diminuer la charge moyenne des trains, et par suite à augmenter le prix de revient de la tonne kilométrique.

Les dépenses de presque tous les chapitres ont augmenté, et notamment celles de « Réparations des machines » pendant les deux derniers exercices, parce que nous avons dû faire supporter à l'entretien les dépenses de reconstruction de nos machines anciennes à 6 et 8 roues ; en 1874, particulièrement, nous n'avons pas eu moins de 13 reconstructions et grandes réparations sur les 46 machines qui font le service du Semmering.

Seules, les dépenses du chapitre « Combustible » ont diminué pendant les trois années 1872, 1873 et 1875.

L'augmentation de 1874 tient à la moindre charge moyenne des trains, et surtout à l'emploi d'une plus grande proportion de lignite de Leoben coûtant plus cher que celui de la Basse-Styrie, par lequel nous tendons de plus en plus à le remplacer.

Digitized by Google

L'agrandissement des foyers de nos machines a eu toujours pour effet de diminuer la consommation par tonne kilométrique de charge brute.

Cette consommation a été de :

0k.17752	en 1869
0 .19036	1870
0 .19050	1871
0 .17394	1872
0 .17451	1873
0 .17255	1874
0 .16624	1875

Ces résultats dépassent de beaucoup celui (0k.19222) de l'année 1868, où les trains de marchandises étaient encore partagés en deux au pied de la rampe.

Nous sommes donc, comme précédemment, conduit à conclure que, contrairement aux hypothèses admises généralement en pareil cas, l'emploi des machines en queue du train ne présente aucun désavantage, ni au point de vue de l'adhérence, ni à celui de la consommation des combustibles.

Ce système que nous employons depuis bientôt huit ans, même dans les sections où les courbes suivies de contre-courbes sans alignement droit n'ont que 180 mètres de rayon, nous a donné toute satisfaction, et nous pensons qu'au point de vue de la sécurité, il mérite d'entrer de plus en plus dans la pratique des exploitations à grandes rampes.

Nous répéterons que son complément nécessaire, pour régulariser la vitesse ou obtenir un prompt arrêt devant un obstacle à la descente, est l'emploi d'un frein à contre-vapeur, ou celui d'un frein à air, toujours à la disposition du mécanicien.

Le tableau suivant donne le parcours des trains sur le Semmering de 1868 à 1875, et indique l'accroissement considérable dans les quatre dernières années des parcours absolus et relatifs des trains de voyageurs.

Digitized by Google

DÉSIGNATION.	1868.	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	1874.	1875.
	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.	kilomètres.
1° Trains de voyageurs remorqués par une machine à 6 roues couplées.....	98185 6	98178 »	106901 9	107698 4	114434 8	172657 »	135311 5	125502 8
2° *Trains de marchandises remorqués par une machine à 8 roues couplées*.....	276486 9	329490 »	386438 4	488280 5	533364 0	552041 »	434700 5	443045 2
Parcours totaux.....	374672 5	427668 »	493340 3	595978 9	647798 8	724698 »	570012 0	568548 0

Rapproché du tableau n° 3, il permet de juger de l'influence de la vitesse sur le prix de revient.

En admettant, comme précédemment, que le prix de traction par kilomètre d'un train de voyageurs, remorqué par une seule machine à 6 roues couplées, soit sensiblement la moitié du prix analogue d'un train de marchandises double, passant en deux fois ou en une fois avec deux machines à 8 roues, dont l'une en tête l'autre en queue, on voit que depuis 1867 les prix ont varié comme suit :

PRIX DE TRACTION PAR KILOMÈTRE.	1867.	1868.	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	1874.	1875.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Pour un train de voyageurs traversant le Semmering avec une seule machine, à six roues couplées....	1.666	1.386	1.246	1.481	1.327	1.365	1.430	1.742	1.523
Pour un train de marchandises traversant en deux fois, avant 1869, ou remorqué par deux machines, dont une en tête et l'autre en queue, depuis 1869.....	3.332	2.772	2.492	2.962	2.654	2.730	2.860	3.485	3.046

Digitized by Google

Les résultats de 1872 à 1875 peuvent encore être considérés comme favorables, eu égard aux circonstances; ils accusent, d'après le tableau n° 4, des réductions encore très-notables sur les prix correspondants de 1860, alors que les machines n'avaient pas encore été transformées, leurs foyers agrandis et leur puissance augmentée.

En faisant pour les frais d'entretien de la voie[1] l'hypothèse admise plus haut pour les frais de traction, appliquant, en outre, aux trains du Semmering, pour comparer avec ce qui s'est fait les années précédentes les dépenses moyennes du service du mouvement et de l'administration générale, on arrive à constituer le tableau n° 6, qui donne les résultats d'exploitation de la section du Semmering depuis 1867 et les compare aux résultats analogues des autres sections de la ligne.

Ligne du Tyrol.

Les tableaux n°s 7 et 8 indiquent, en les comparant à ceux des années précédentes, les résultats obtenus sur la ligne du Tyrol de 1872 à 1875.

On voit, en somme, que les dépenses totales du service par kilomètre

1. Nous devons les renseignements relatifs à la voie à l'obligeance de M. Prenninger, qui a succédé à M. Bolze comme directeur de l'entretien et de la surveillance de la voie.

M. Prenninger nous a, en outre, communiqué les renseignements suivants, qui seront lus avec beaucoup d'intérêt.

Ils donnent la comparaison entre les frais d'entretien et de surveillance par kilomètre de chemin exploité en 1872, 1873, 1874 et 1875, et les résultats moyens correspondants obtenus depuis 1860 jusqu'à 1875, soit pendant une période de 16 ans.

DÉSIGNATION des chapitres des dépenses faites pour le chemin du Semmering	DÉPENSES de 1872.	DÉPENSES de 1873.	DÉPENSES de 1874.	DÉPENSES de 1875.	MOYENNE DES DÉPENSES depuis l'année 1860.	
	Par kilomètre de chemin exploité.				TO	Par kilomètre de chemin exploité.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Infrastructure.....	688 28	930 91	722 61	730 11	29057 50	696 48
Superstructure.....	6136 02	5454 72	3601 33	2876 26	296197 50	7099 65
Bâtiments.....	449 34	721 80	391 59	393 70	19560 »	468 86
Clôtures.....	68 19	56 31	50 33	45 48	3600 »	87 72
Surveillance.....	1086 52	1155 14	1228 63	1199 24	49122 50	1177 48
Travaux extraordinaires..	134 35	301 48	594 44	433 72	15615 »	374 28
Administration et conduite des travaux.....	524 40	479 80	513 08	660 83	20365 »	488 13
Totaux.....	9057 10	8810 16	7097 01	6329 34	433577 50	10392 55

Digitized by Google

de train ont toujours été en diminuant jusqu'à l'année 1875, au fur et à mesure du développement du trafic sur la ligne du Tyrol.

Le parcours total des trains étant passé de 1 534 959 kilomètres en 1874 à 1 526 979 kilomètres en 1875, et le travail correspondant en tonnes kilométriques de 248 112 267.6 tonnes kilométriques de charge brute à 247 164 434.8, il en est résulté pour 1875 une augmentation toute naturelle des dépenses de conduite et de frais généraux.

Mais ce qui a surtout contribué à élever les prix de revient de 1875, c'est l'augmentation considérable des dépenses d'entretien du matériel.

Ces dépenses par kilomètre de train en 1875 dépassent en effet

de.	21.5 %	celles de	1874,
—	42.5 %	—	1873,
—	44.4 %	—	1872,
et enfin de.	51.9 %	—	1871.

Or, malgré la progression rapide des dépenses d'entretien, prévue d'ailleurs dans notre dernière note, puisqu'à cette époque, nous avions encore un matériel neuf qui a vieilli depuis 1867, les dépenses totales du service par kilomètre de train en 1875 ne dépassent celles

de l'année.	1874	que de	5.5 %
—	1873	»	2 %
—	1872	»	0.7 %
et sont inférieures à celles de l'année	1871	de	3.1 %
—	1868	»	6.7 %

Ces bons résultats sont presque uniquement dus aux économies réalisées sur les dépenses de combustible, d'une part sur le prix d'achat, d'autre part sur la consommation.

C'est qu'en effet depuis l'ouverture de la ligne transversale de Villach à Franzensfeste (novembre 1871), nous avons pu substituer aux charbons de Pilsen et à ceux de Saarbrück que nous avions dû employer, particulièrement au Brenner, dès 1867, des lignites de Fohnsdorf (Haute-Styrie) et des lignites de la Basse-Styrie, que nous faisons arriver par Villach à Franzensfeste.

Les prix moyens de la tonne de combustible, ramenés au coke

Digitized by Google

de Silésie, ont été les suivants, depuis l'ouverture de la ligne du Tyrol.

42t.220	en 1868
38.445	1869
35.315	1870
40.510	1871
36.915	1872
35.065	1873
28.40	1874
26.59	1875

Les consommations et dépenses correspondantes sont indiquées dans le tableau suivant.

Années.	Consommation de combustible en unités équivalentes de coke de Silésie.		Dépense de combustible par tonne kilométrique.
	Par kilomètre de train.	Par tonne kilométrique.	
	k.	k.	fr.
1868	12.63	0.11241	0.004746
1869	10.98	0.10236	0.003901
1870	11.05	0.09289	0.003280
1871	14.32	0.10822	0.004384
1872	13.66	0.09704	0.003582
1873	14.54	0.09149	0.003208
1874	14.75	0.09126	0.002592
1875	14.73	0.09104	0.002421

Mais là ne se bornent pas les économies réalisées dans l'exploitation de la ligne du Tyrol ; elles résident, pour une grande partie, dans la meilleure utilisation de la puissance des machines, et il suffit, pour s'en convaincre, de jeter les yeux sur le tableau n° 8; on voit que, depuis 1868 jusque et y compris 1875, la charge moyenne des trains a constamment été en augmentant, et que finalement elle a passé de 112t.4 qu'elle était en 1868, à 161t.85 en 1875, soit une augmentation de 44 pour 100.

A cette augmentation correspond malgré la majoration des dépenses d'entretien du matériel dans une proportion considérable, une diminution de 26.5 pour 100 sur le prix de revient de la tonne kilométrique en 1868, point de départ de l'exploitation régulière de la ligne du Tyrol.

Ainsi qu'il ressort du tableau n° 8, l'augmentation de la charge moyenne des trains a été très-considérable depuis 1872 ; il est donc tout naturel qu'il en soit résulté une diminution correspondante dans les

Digitized by Google

prix de revient de la tonne kilométrique ; mais quelque favorables que soient ces prix, ils sont encore bien loin de ceux obtenus sur la ligne principale.

La différence tient à un trafic moins développé et surtout à l'influence des sections à grandes rampes, dont la proportion atteint, au Tyrol, plus de 40 pour 100 de la longueur totale de la ligne.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant, comme nous l'avions du reste fait précédemment, de dégager les résultats obtenus de cette influence, et nous avons comparé dans le tableau n° 9 les résultats de la ligne principale de Vienne à Trieste et de ses embranchements, en écartant complétement les dépenses du Semmering, avec ceux correspondants des sections Nord et Sud du Tyrol, la section du Brenner étant complétement réservée pour un examen spécial.

Un coup d'œil sur ce tableau fait voir combien nos prévisions étaient justes, quand nous disions dans notre dernier compte rendu que les dépenses par kilomètre de train pour les différents chapitres iraient sans cesse en se rapprochant au fur et à mesure du développement du trafic au Tyrol, et notamment dès l'ouverture de la section de Villach à Franzensfeste en ce qui concerne spécialement les dépenses de combustible.

Aujourd'hui on peut dire que ces dépenses, sauf celles de réparation du matériel, sont sensiblement les mêmes, et il est probable qu'il en sera autant des chapitres d'entretien dès que le matériel du Tyrol sera plus ancien, et dès que la proportion des trains de marchandises et de voyageurs sera à peu près la même sur les deux lignes.

C'est un résultat très-satisfaisant auquel nous n'espérions pas arriver aussi promptement, et qui montre combien nos prix de traction proprement dite s'approchent d'une limite d'économie qu'il est difficile de dépasser.

Section du Brenner.

Le tableau n° 10 indique les prix de revient par kilomètre de train et par tonne kilométrique sur la section du Brenner pendant les années 1872 à 1875, et les compare aux résultats analogues obtenus depuis 1868.

On peut dire que ces prix ont été constamment en baissant

Digitized by Google

depuis 1868; la légère augmentation de 1875 sur 1874 s'explique, comme pour la ligne entière du Tyrol, par une diminution des parcours et par l'accroissement des dépenses d'entretien du matériel.

Il en ressort pour 1875 une diminution de 2 pour 100 sur le prix de revient du kilomètre de train et une diminution de 25.6 pour 100 sur le prix de la tonne kilométrique en 1868, point de départ de l'exploitation régulière du Brenner.

Les bons résultats de ces dernières années sont dus comme pour la ligne entière du Tyrol au prix plus favorable du combustible et à l'économie apportée dans sa consommation. Ils sont dus surtout à la meilleure utilisation de la puissance des machines, la charge du train moyen étant passée de 100t.6 en 1868 à 132t.3 en 1875, soit une augmentation de 32 pour 100, comme on le voit par le tableau n° 10.

Le tableau n° 11 indique, pour la période de 1868 à 1875, les parcours des trains de voyageurs et de marchandises sur la section du Brenner, les prix de revient de chacun de ces trains dans l'hypothèse faite précédemment pour la section du Semmering, et enfin les consommations de combustibles correspondantes.

On peut en déduire l'influence des trains rapides sur la consommation de combustibles dans les sections à grandes rampes.

L'exploitation du Brenner a d'ailleurs continué à fonctionner avec sa régularité ordinaire dans les hivers les plus rigoureux, et la seule observation que nous ayons à faire c'est que les nouvelles machines à 8 roues, qui remorquent avec facilité des trains de 200 tonnes au Semmering en plein hiver, et malgré ses courbes de 180 mètres de rayon, ont de la peine à atteindre cette limite au Brenner; nous attribuons ce résultat au profil du chemin et surtout à la différence d'orientation et d'altitude du Brenner, où le coefficient d'adhérence est évidemment inférieur à celui qu'on peut obtenir au Semmering.

Dans ces conditions nous pouvons nous féliciter de n'avoir pas cédé aux critiques de quelques ingénieurs en donnant la préférence pour les lignes à longues rampes et à grande altitude, telles que le Brenner, à des machines-tenders sur nos machines à 8 roues avec tenders séparés.

Nous ne contestons pas que certaines circonstances locales puissent favoriser l'emploi de machines-tenders; mais ce n'est certainement pas le cas au Brenner où l'adhérence de ces machines tomberait au minimum, précisément au moment où on arrive aux passages les plus

Digitized by Google

difficiles, là où la température, l'état du rail et de l'atmosphère exigent l'adhérence la plus considérable.

Nous aurons, d'ailleurs, occasion de revenir sur cette question à la fin de cette note.

Nous terminons ce qui concerne le Brenner en donnant dans les deux tableaux n° 12 et 13 les résultats comparatifs obtenus sur le Brenner et le Semmering, de 1868 à 1875.

Ainsi qu'il résulte du tableau n° 12, et comme nous l'avons déjà fait remarquer précédemment, les dépenses de conduite sont moindres au Brenner qu'au Semmering par suite de la plus grande longueur de la section et par conséquent de la meilleure utilisation possible du personnel.

Les dépenses de combustible sont plus considérables au Brenner, ce qui tient uniquement à la plus grande valeur du combustible, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

DÉSIGNATION.	Semmering.							
	1868.	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	1874.	1875.
Prix de combustible.....	26f 55	21.1	22.2	22.67	21.67	23.21	25.28	22.15
Consommation moyenne par kilomètre de train.....	24k	23	23.62	24.66	23.18	22.59	22.13	21.8
Charge moyenne des trains correspondante.....	124t.9	130.2	124.1	129.45	131.45	129.5	128.25	131.25
Consommation correspondante par tonne kilométrique.	0k.19222	0.17752	0.19036	0.190506	0.17594	0.17451	0.17255	0.16621

DÉSIGNATION.	Brenner.							
	1868.	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	1874.	1875.
Prix de combustible.....	42f 69	39.8	35.67	40.71	36.99	36.935	31.96	31.89
Consommation moyenne par kilomètre de train.....	17k.2	16.3	16.1	21.61	19.7	17.9	18.07	17.7
Charge moyenne des trains correspondante.....	100t.6	94.05	102.55	115.3	121.83	132.2	132.35	132.3
Consommation correspondante par tonne kilométrique.	0k.17134	0.17354	0.15766	0.187439	0.162127	0.13613	0.136566	0.13406

L'avantage de la consommation par tonne kilométrique en faveur du Brenner tient au meilleur chargement des trains de marchandises (voir tableau n° 13).

Les trains de marchandises sont, en effet, bien chargés au Brenner dans les deux sens, tandis qu'au Semmering le trafic n'a d'importance que dans la direction du Sud au Nord.

Digitized by Google

Les dépenses de graissage varient avec la qualité et le prix des huiles qu'on emploie dans l'une ou l'autre des sections. Ces dépenses tendent à s'égaliser.

L'eau d'alimentation coûte moins cher au Brenner, où nous avons presque exclusivement des prises d'eau naturelles.

Les frais généraux tendront à se rapprocher au fur et à mesure du développement du trafic sur le Brenner.

Les dépenses d'entretien des machines sont sensiblement plus faibles au Brenner où le matériel est plus nouveau qu'au Semmering ; nous commençons cependant à renouveler les chaudières en acier Bessemer de 10 machines à 8 roues couplées, affectées au Brenner depuis le mois d'août 1867 et qui y ont fait depuis lors un excellent service.

Les dépenses d'entretien des voitures sont plus considérables au Brenner, où le parcours des trains de voyageurs relativement à celui des trains de marchandises est beaucoup plus grand qu'au Semmering ; par contre, et par la même raison, les dépenses d'entretien des wagons sont inférieures à celles du Semmering.

Le tableau n° 13 complète la comparaison que nous nous proposions de faire entre le Semmering et le Brenner ; il donne la composition moyenne des trains et leurs charges, les parcours et travaux effectuées, enfin les prix de revient par kilomètre de train et par tonne kilométrique.

Il en résulte, ainsi du reste que nous l'avions prévu dès 1869, que dans ces trois dernières années les prix de revient du Brenner sont restés sensiblement inférieurs à ceux correspondants du Semmering.

Il est probable que ce résultat pourra se maintenir sinon s'améliorer encore avec le développement du trafic, et si surtout nous parvenons à nous procurer au Brenner un combustible encore meilleur marché que le lignite de Fohnsdorf.

Ligne de Villach à Franzensfeste.
Dite : du Pusterthal.

Cette ligne, ouverte en novembre 1871, possède une longueur totale de 208 kilomètres, dont 104 kilomètres, entre Villach et Lienz, ne présentent que des rampes maxima de 5 pour mille, tandis que la partie comprise entre Lienz et Franzensfeste (notamment de Lienz à Brunneck,

Digitized by Google

75 kilomètres sur 104), présente une succession de rampes et pentes de 18 à 25 pour mille. Les rayons de courbure minima y sont de 285 mètres.

Le tableau n° 14 indique les résultats de traction obtenus sur cette ligne depuis l'ouverture jusqu'à fin 1875.

Les résultats de 1871 ne s'étendent qu'à une période de 40 jours, de telle sorte que notre véritable point de départ pour l'exploitation du Pusterthal devra être l'année 1872. Si nous avons mentionné les résultats obtenus pendant les 40 jours de 1871, ce n'est qu'à titre de renseignement et pour permettre de voir comment un service de traction peut être organisé économiquement dès le début.

La ligne du Pusterthal vient, comme difficulté de profil, se classer entre la ligne principale et celle du Tyrol, et ainsi que permet de le voir le tableau n° 14, c'est bien entre les prix de revient de ces deux lignes que se trouvent compris ceux de la ligne qui nous occupe.

Les parcours des trains, mais surtout leurs chargements bruts moyens ont été sans cesse en augmentant jusqu'en 1875, pour subir une légère réduction dans le dernier exercice, et comme cette réduction de parcours a surtout porté sur les trains de marchandises, il en est résulté pour 1875 une diminution de 3t.95 pour le train moyen, et partant une augmentation du prix de revient de la tonne kilométrique.

Les chapitres qui ont subi les plus grandes variations sont comme toujours ceux des réparations et du combustible.

La consommation a été successivement de :

ANNÉES.	PAR KILOMÈTRE DE TRAINS.	PAR TONNE KILOMÉTRIQUE.
	k.	k.
1872	13.4	0.10942
1873	13.7	0.09234
1874	15.3	0.09159
1875	15.8	0.09687

Ce dernier résultat montre une fois de plus l'influence de la vitesse des trains de voyageurs sur la consommation, et par suite sur le prix de revient de l'unité de transport.

Le service pour les trains de voyageurs se fait dans la section relativement facile de Villach à Lienz par des machines à 4 roues couplées de Marburg, et par des machines à 6 roues couplées, stationnées

Digitized by Google

à Lienz, pour les trains de marchandises. A partir de Lienz, jusqu'à Franzensfeste, les trains de voyageurs sont, comme sur le Brenner, remorqués par des machines à 6 roues couplées, et les trains de marchandises par nos nouvelles machines à 8 roues ; bien entendu, la traction à la remonte des grandes rampes se fait pour les trains de marchandises avec deux machines, dont une en tête et l'autre en queue du train.

Le trafic ayant lieu surtout dans le sens de Lienz à Franzensfeste, les trains sont généralement remorqués par deux machines depuis Lienz jusqu'au faite (1200 mètres) de Toblach, où la machine de queue se détache pour retourner haut-le-pied au dépôt, la machine de tête suffisant seule, en beau temps, pour faire descendre des trains de 500 tonnes sur les pentes de 20 pour 1000 de Toblach à Bruneck.

Ligne de St-Peter à Fiume.

La ligne de St-Peter à Fiume qui se détache de la station de St-Peter, un des sommets de notre section du Karst (578m.862 au-dessus du niveau de la mer) a une longueur totale de 55 kilomètres et descend par des pentes de 7, 11, 12 et 25 pour mille jusqu'au port hongrois de Fiume.

Cette ligne, plus stratégique que commerciale, a été ouverte au mois d'août 1873. Son trafic très-restreint est actuellement plus faible qu'au début ; aussi, en nous reportant au tableau n° 15, qui donne les résultats obtenus depuis 1873, voyons-nous le prix de la tonne kilométrique aller sans cesse en croissant.

Les dépenses par chapitre et les dépenses totales par tonne kilométrique se rapprochent des résultats correspondants du Brenner et du Semmering.

L'exploitation se fait au moyen de machines à six roues couplées reconstruites dans nos ateliers de Marburg.

L'ensemble des résultats obtenus fait voir que pour arriver à une exploitation économique sur ces sections difficiles et à faible trafic, il y a lieu de donner la préférence aux trains mixtes, marchant à vitesse réduite, sur le système qui consiste à avoir des trains de voyageurs et des trains de marchandises.

Digitized by Google

Ensemble du Réseau et Résumé.

Pour terminer cette note en la résumant, nous donnons dans le tableau n° 16 la comparaison pour les années 1868 à 1875, des parcours de trains et de leurs compositions moyennes, des charges moyennes remorquées et des prix de revient correspondants par kilomètre de train et par tonne kilométrique sur les différentes lignes et sections du réseau.

Ce tableau permet, étant donné le profil d'une ligne à exploiter et l'importance du trafic à attendre, de déterminer par comparaison, les dépenses approximatives du service du matériel et de la traction.

Comme résultat général on peut en conclure que depuis 1872 les parcours des trains de marchandises ont été en diminuant sur la ligne principale et en augmentant sur les deux lignes du Tyrol et de Villach à Franzensfeste ce qui tendrait à prouver que la crise commerciale et industrielle a plutôt exercé son influence sur les lignes anciennes que sur les lignes nouvelles.

Cela s'explique, le trafic des lignes du Tyrol et du Pusterthal étant plutôt un trafic de transit, tandis que celui de la ligne principale dépend beaucoup plus de l'industrie locale très-éprouvée par la crise financière qui sévit depuis 1873.

Il est donc naturel que les prix de revient de la tonne kilométrique augmentent sur la ligne principale, tandis qu'ils diminuent sur les sections du Tyrol et du Pusterthal.

Les prix moyens de l'ensemble du réseau pour les quatre dernières années sont supérieurs à ceux de l'année 1871 par suite de l'ouverture successive des deux sections difficiles du Pusterthal et de St-Peter à Fiume, par suite de la proportion croissante des trains de voyageurs et de la réduction de la charge moyenne qui en est la conséquence, par suite de l'âge croissant du matériel et de l'augmentation de la main-d'œuvre, d'où résultent des frais de réparations plus considérables.

Néanmoins, si nous nous reportons aux résultats de 1875, et que nous les comparions à ceux de 1867 antérieurement à l'ouverture des sections très-accidentées d'Innsbruck à Botzen (125 kilomètres), de Villach à Franzensfeste (208 kilomètres) et de St-Peter à Fiume (55 kilomètres), nous trouvons :

Digitized by Google

1° Que la charge moyenne des trains est passée de 177t.35 à 198t.33, soit une augmentation de 11.9 pour cent;

2° Que malgré toutes les causes d'augmentation précédemment signalées, le prix du kilomètre de train ne s'est élevé que de 12 pour cent environ, et celui de la tonne kilométrique est passé de 0,005486 qu'il était en 1867 à 0,005506 en 1875, soit une augmentation de 0.36 pour cent.

Ainsi donc, malgré l'ancienneté du matériel, malgré l'augmentation de la main-d'œuvre, malgré la proportion beaucoup plus grande de trains rapides, malgré l'ouverture de 388 kilomètres de sections difficiles, représentant 20 pour cent de la longueur totale du réseau, et enfin, bien que le trafic se soit de préférence développé dans les sections les plus difficiles du réseau, l'augmentation du prix de revient du service du matériel et de la traction par tonne kilométrique n'a été que d'environ 1/3 pour cent, c'est-à-dire, presque nulle dans une période de huit ans.

Ce résultat très-favorable doit être attribué en grande partie à la meilleure utilisation de la puissance des machines et aux mesures que nous avons prises pour augmenter sans cesse cette puissance.

D'une part, en effet, nous avons continué à modifier successivement nos marches de trains, de façon à mettre nos vitesses de plus en plus en rapport avec les inflexions en plan et en profil de nos lignes, et de l'autre, nous avons sans cesse cherché à augmenter la puissance de nos machines, en vendant les machines anciennes au profit du compte « Inventaire » et au débit du compte « Entretien » pour les remplacer par des machines beaucoup plus puissantes; en reconstruisant nos machines-tenders en machines avec tenders séparés, ayant beaucoup plus d'adhérence, et enfin en augmentant, au fur et à mesure du renouvellement de nos chaudières (40 à 50 par an dans ces dernières années et 69 en 1875), les dimensions de nos foyers et la pression de la vapeur.

Pour le programme que nous avons suivi dans ces reconstructions et renouvellements, nous renverrons à notre publication de 1873.

Le but que nous nous étions proposé à cette époque a été atteint, et si nous nous permettons d'insister sur la question, c'est que, malgré les résultats obtenus depuis plus de quinze ans et bien que le jury international de l'Exposition universelle de 1873 ait jugé notre matériel digne de la plus haute récompense (diplôme d'honneur), quelques critiques n'ont pas manqué de s'élever contre nos machines à 8 roues à ten-

Digitized by Google

ders séparés, auxquelles on a reproché de ne pas utiliser complétement leur adhérence en ce sens qu'elles ne sont pas des machines-tenders; d'avoir une charge trop considérable pour essieu et de ne pas passer assez facilement dans les courbes de petits rayons.

En ce qui concerne le premier point, nous croyons y avoir suffisamment répondu dans les notes précédentes et notamment dans celle de 1873, à laquelle nous renverrons pour ne pas nous répéter.

Nous nous bornerons à dire que la pratique de ces dernières années, pendant lesquelles nous avons eu occasion d'ajouter 75 machines à 8 roues couplées aux 36 que nous possédions déjà en 1871, n'a fait que confirmer nos idées à ce sujet. Nous sommes plus que jamais d'avis que pour des rampes continues, de grande étendue et à grande altitude, il convient de ne pas charger la machine d'un poids autre que celui nécessaire à son bon fonctionnement, c'est-à-dire, qu'il y a lieu avant tout de donner du développement à son organe essentiel qui est la chaudière, et plus particulièrement au foyer et à la grille.

Ce qui démontre pour nous, mieux que tous les raisonnements, le rapport intime qui existe entre l'adhérence maxima d'une machine et et la puissance que sa chaudière, vu les dimensions qu'on peut lui donner, est susceptible de développer, c'est le peu de succès qu'ont obtenu jusqu'à ce jour les machines du système Sturrock dont le principe paraît cependant si rationnel.

On peut en déduire que dans une machine-tender, proprement dite, le poids supplémentaire constitué par les caisses du tender et leur chargement en eau et combustible, ne peut être donné à la machine qu'au détriment du développement de la chaudière.

Ce poids supplémentaire est, d'ailleurs, variable, et il atteint un *minimum* au moment où il devrait être un *maximum*.

C'est donc à ce système de machines, dont nous ne contestons d'ailleurs pas les avantages dans certains cas spéciaux, que nous pourrions retourner le reproche qu'on fait aux nôtres, de ne pas utiliser toute leur adhérence, puisqu'elles forcent à réduire la charge des trains dans la proportion de l'adhérence maxima à l'adhérence minima.

Une expérience de quinze ans vient, d'ailleurs, sanctionner les raisons qui nous ont fait, comme à notre prédécesseur, adopter la machine à tender séparé pour nos lignes à grande altitude et à longues rampes.

Nous croyons au surplus que, si dans un calcul bien établi, on tient compte de toutes les circonstances d'exploitation de lignes de montagne

Digitized by Google

comme celles qui nous occupent, on trouvera que la théorie ne s'éloigne pas beaucoup des résultats de la pratique.

Ajoutons, pour terminer, que nous nous trouvions dans le même cas que toutes les Compagnies de chemin de fer qui avaient envoyé des machines à 8 roues couplées à l'Exposition universelle de 1873. Toutes ces machines avaient des tenders indépendants : ce qui tendrait à prouver qu'en pratique toutes les grandes compagnies sont d'accord entre elles.

Nous ne voudrions pas, toutefois, que l'on pût conclure de ce qui précède que nous ne sommes pas ennemis du poids mort, relativement encore plus nuisible en chemin de montagne qu'il ne l'est en plaine. Nous avons, au contraire, la prétention et la réputation établie d'avoir le matériel-wagons le plus léger d'Autriche. Nos wagons couverts pèsent généralement cinq tonnes, et les plus lourds d'entre eux, avec freins et longerons en fer, n'atteignent pas six tonnes pour un chargement utile de dix tonnes. Depuis l'origine nous n'avons jamais perdu de vue cette question du poids mort qui a été tout récemment (mai 1876) l'objet d'une communication si intéressante, dans le sens d'une réduction désirable, à la Société des Ingénieurs civils de Londres.

Nous sommes d'avis que c'est bien plutôt dans une réduction du poids mort des véhicules et dans leur meilleur chargement que dans la suppression des tenders indépendants de la machine qu'il faut chercher la solution d'une traction économique et d'une exploitation rationnelle.

Pour en donner une idée, nous dirons que pendant l'année 1875 le travail total exécuté sur l'ensemble de notre réseau a été de 2 205 232 373 tonnes kilométriques.

Ce travail se décompose comme suit, en comptant chaque voyageur avec son bagage à main pour 75 kilogrammes :

Poids utile	
46 208 134 personnes transportées à 1 kilomètre à 75 kilogrammes.	26 290 418 ton. kilom.
Marchandises à grande et petite vitesse. . .	890 381 662
Poids mort	
Voitures à voyageurs.	283 426 979
Wagons à marchandises et divers.	1 005 133 614
Total égal.	2 205 232 373 ton. kilom.

Digitized by Google

En débarassant ces résultats du facteur grande vitesse nous trouvons que la proportion du poids mort à la charge brute transportée a varié pour l'ensemble du réseau de 51 à 53 pour cent dans les quatre dernières années.

Les coefficients de 48 à 46 pour cent qui en sont résultés pour l'utilisation de la capacité portante du matériel sont d'autant plus favorables que sur tout notre réseau, excepté au Tyrol, le trafic n'a généralement lieu que dans une direction.

La seconde critique adressée à notre machine à 8 roues couplées est relative à la charge des essieux.

Cette charge maxima atteint 13 tonnes dans notre machine la plus chargée pesant en ordre de marche 51'.3/4.

Tandis que le règlement de l'union des chemins allemands permet d'aller jusqu'à 14 tonnes par essieu, quelques ingénieurs voudraient, nous ne saisissons pas bien pourquoi, ne pas dépasser la charge de dix tonnes pour les locomotives de montagne.

Nous ne comprenons pas comment une machine de montagne, destinée à marcher lentement et qui, pour bien faire, ne devrait jamais dépasser la vitesse de 15 kilomètres à l'heure, peut agir sur la voie d'une façon plus destructrice que les machines à voyageurs, destinées à marcher à grande vitesse, et qu'en Allemagne on charge à raison de 14 tonnes par essieu pour les machines à 4 roues couplées, et en Angleterre, à raison de 15 tonnes sur l'essieu moteur.

Nous le comprenons d'autant moins que les voies actuelles sont en acier et qu'elles comportent un plus grand nombre de traverses, de plaques et de crampons qu'autrefois.

La pratique est venue, d'ailleurs, confirmer nos prévisions et nous avons vu qu'au Semmering, par exemple, où nous avons des rails en acier qui datent en moyenne de trois ans, mais dont les premiers remontent à l'année 1868, il n'a pas été changé un seul rail en 1875.

En nous reportant au tableau qui nous a été communiqué par le service de la voie, nous constatons qu'au Semmering, les dépenses d'entretien de la voie vont sans cesse en diminuant depuis seize ans et que notamment elles accusent une diminution encore plus sensible depuis 1872, c'est-à-dire, depuis l'introduction de nos nouvelles machines à 8 roues couplées.

Notre avis, qui se rencontre d'ailleurs avec celui de la plupart de nos collègues est que la charge des essieux de machines subira encore un

Digitized by Google

accroissement, au fur et à mesure qu'on augmentera la déclivité des rampes et qu'on nous livrera des voies proportionnellement encore plus solidement établies.

A l'heure actuelle, et après l'expérience faite au chemin de l'Utliberg où les rampes atteignent 70 pour mille, franchir pour une grande ligne une rampe de 40 pour mille avec les moyens ordinaires de traction et en remorquant des charges relativement importantes, nous paraît un problème moins difficile à résoudre que ne devait l'être celui de la traction du Semmering avant l'invention des machines Engerth.

Or, à moins que l'électricité ne nous vienne en aide, le chargement plus considérable des essieux de machines restera le seul moyen d'augmenter l'adhérence en montagne comme en plaine.

C'est la voie dans laquelle marchent la plupart des Compagnies des chemins de fer pour tous leurs systèmes de machines, et c'est ainsi que nos machines actuelles à 6 roues couplées peuvent remorquer au Semmering à peu près les mêmes charges que nos machines à 8 roues anciennes.

En ce qui concerne le passage de nos machines à 8 roues dans les courbes de petits rayons (180 mètres au Semmering, 190 mètres sur le Karst, 285 mètres sur le Brenner et le Pusterthal), une longue pratique nous a fait reconnaître qu'un jeu latéral de 5 millimètres à l'essieu d'avant et de 20 à 25 millimètres de chaque côté à l'essieu d'arrière, remplaçaient avec avantage tous appareils, tels que balancier, attelage, ressorts et plans inclinés, qui avaient été introduits pour franchir les courbes.

La meilleure preuve est que la moyenne de parcours de 36 garnitures de bandages en acier Krupp a atteint 87707 kilomètres, et qu'au Semmering le parcours d'une de ces garnitures a même atteint 183270 kilomètres, tandis que la moyenne de parcours des bandages de même provenance sous les machines à 6 roues couplées, faisant les trains de voyageurs au Brenner, a été dans la même période de 88571 kilomètres, et le parcours maximum de ces mêmes bandages 125943 kilomètres seulement.

En ramenant les bandages de nos différentes machines au diamètre fictif de un mètre, nous avons trouvé pour une période de dix ans que les parcours des bandages en acier Krupp étaient les suivants :

Digitized by Google

DÉSIGNATION.	PARCOURS MOYEN.	PARCOURS MAXIMUM.
Sous les machines à voyageurs à 4 roues couplées de 1m.580 de diamètre.....	210816k	242436k
Sous les machines à 6 roues couplées de 1m.265 de diamètre et 2m.950 d'empatement, faisant.... le service des marchandises en plaine.	181730	298219
Sous les machines à 6 roues couplées de 1m.265 de diamètre et 2m.950 d'empatement, faisant.... — voyageurs en montagne.	70837	100187
Sous les machines à 8 roues couplées de 1m.068 à 1m.106 de diamètre, et 3m.438 à 3m.560 d'empâtement.....	83920	175884

Ces résultats pratiques parlent d'eux-mêmes. Nous espérons pouvoir encore augmenter la durée de nos bandages des machines à 8 roues en graissant, pendant l'été, les boudins des roues d'avant; nous disons pendant l'été, parce qu'en hiver l'usure est presque insignifiante.

Les essais de graissage des boudins auxquels nous nous sommes livrés depuis 1873, nous ont donné d'excellents résultats et nous font espérer des parcours de 30000 au lieu de 12500 kilomètres entre chaque retournage de bandages. Ils nous ont d'ailleurs prouvé, contrairement à ce qu'on aurait pu croire, que ce graissage ne nuit en rien à l'adhérence.

Ce graissage se fait indifféremment avec une graisse spéciale ou à l'huile mélangée d'un peu de colophane, et il est particulièrement économique avec l'huile de pétrole.

On voit, par ce qui précède, que le reproche fait à nos machines de passer difficilement dans les courbes, n'est pas plus fondé que les deux précédents. Il n'y a donc pas lieu de s'arrêter plus longtemps à ces critiques, auxquelles nous répondons par des résultats acquis depuis quinze ans, et nous attendrons pour reprendre la question qu'on oppose à ces résultats des faits et des chiffres.

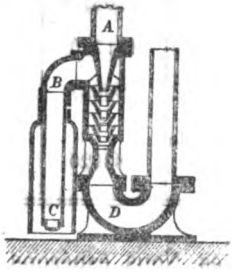
Nous terminerons cette note en signalant une application assez heureuse des éjecteurs, système Friedmann, pour remplacer momentanément la machine fixe d'alimentation dans les gares où sont stationnées les machines de réserve et où les puits se trouvent à proximité des réservoirs à alimenter.

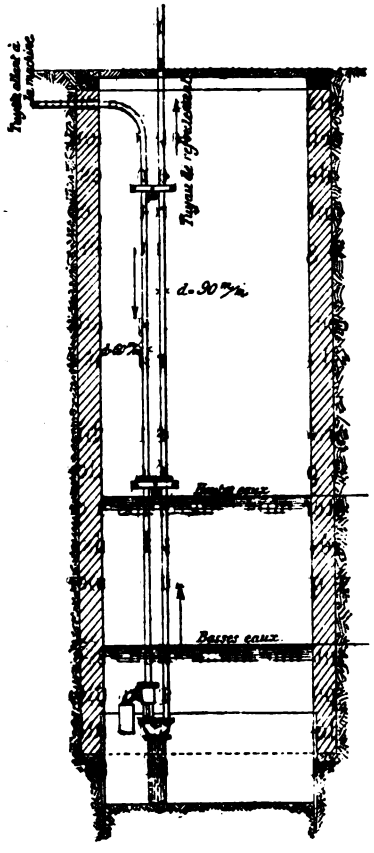
Dans les grandes stations d'alimentation avec pompe à vapeur, il arrive que la pompe, la machine ou la chaudière demandent de grandes réparations, pendant lesquelles il faut les remplacer, soit par des pompes,

Digitized by Google

machine et chaudière de rechange, soit, en leur absence, par une pompe à bras ou une locomobile, ou bien encore il faut transporter de l'eau en tenders ou dans des wagons *ad hoc*.

Dans une période de trois ans, et tout d'abord pendant l'Exposition universelle de 1873, nous nous sommes trouvés dans ce cas dans les trois grandes stations de W. Neustadt, embranchement de notre ligne de Hongrie sur la ligne principale de Vienne à Trieste, de Kanizsa, station centrale de notre réseau hongrois, et enfin de Kufstein, station frontière bavaroise de notre ligne du Tyrol.





Pour éviter le renouvellement de dépenses considérables et profitant de ce que dans ces trois stations les puits étaient à proximité du réservoir, l'idée nous est venue de descendre au fond du puits l'éjecteur en question : nous y avons amené la vapeur au moyen d'un tuyau en cuivre, partant d'un robinet à vapeur de la machine de secours, placée sur la voie la plus voisine, et nous y avons, ce qui est important, fixé la colonne de refoulement, montant aussi directement que possible jusqu'à 160 millimètres environ au-dessus du réservoir.

Les deux croquis ci-joints donnent une idée suffisante de l'appareil en question, et de sa situation dans le puits et par rapport à la machine.

Ce moyen d'alimentation, coûteux par la grande quantité de vapeur qu'il exige quand il s'agit de la produire dans une chaudière fixe spéciale, a donné dès le début d'excellents résultats que nous relatons

Digitized by Google

dans le tableau suivant pour chacune des trois stations où on l'a appliqué.

DESIGNATION.	NEUSTADT.	KANIZSA.	KUFSTEIN.
Longueur de la conduite de vapeur.....	17m.700	31m.800	26m.75
Longueur de la conduite de refoulement.....	14 .500	24 .500	20 .25
Hauteur de refoulement.....	12 .400	22 .650	15 .45
Pression moyenne de la vapeur dans la locomotive.....	5at.9	5at.3	6at.7
Quantité d'eau montée en une heure.....	31m3.6	32m3.8	33m3
Température de l'eau { dans le puits.....	10°	11°	14°
Température de l'eau { à l'entrée dans le réservoir..	21°.5	28°	34°
Quantité de combustible ajoutée dans le foyer de la machine par m. cube d'eau élevée dans le réservoir.....	2k.973	5k.668	3k.458
Pression à laquelle l'appareil cesse de fonctionner.....	3at.5	4at.5	4at.3

C'est donc, à la condition que la machine de secours doit être maintenue en pression, un moyen très-prompt et économique de se procurer de l'eau dans certains cas donnés.

Ajoutons que par la grande quantité d'eau qu'il débite (40 à 50 mètres cubes à l'heure sous une pression suffisamment élevée) l'éjecteur exige très-peu de temps de travail de la machine et que, par conséquent, il pourrait au besoin être appliqué dans les stations intermédiaires, où l'on utiliserait l'arrêt des trains de marchandises pour remplir les réservoirs.

Remarquons, enfin, que par la grande vitesse qu'il imprime à l'eau aspirée, il permet de nettoyer les puits les plus profonds; c'est ce qui nous est arrivé pour Kanizsa, où l'emploi de cet appareil a complétement modifié, dans un sens très-favorable, le régime d'un puits jusque-là insuffisant.

Juillet 1876.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DU

RÉGIME GÉNÉRAL DES EAUX COURANTES

DE M. THOMÉ DE GAMOND

PAR M. LOUIS LARRÜE.

APPAREIL HYDRAULIQUE DE LA FRANCE.

L'ensemble des eaux vives, courantes ou stagnantes, existant à la surface ou dans les différentes couches de notre sol national constitue l'appareil hydraulique de la France.

Le mécanisme de cet appareil se manifeste dans trois fonctions successives et distinctes, qui sont :

1° Évaporation des eaux océaniques ;

2° Leur distribution en pluies liquides à la surface des continents ;

3° La restitution des eaux à l'Océan par un appareil d'émissaires divers, ruisseaux et rivières.

Il n'est pas au pouvoir de l'homme d'influer sur les deux premiers éléments de la grande loi de circulation hydraulique indiquée ci-dessus ; mais quant au troisième élément, c'est-à-dire quand l'eau fluviale est descendue sur terre, l'homme devient maître de l'utiliser et de l'administrer à son profit.

Il nous appartient donc de modifier le troisième terme de la loi de circulation hydraulique, c'est-à-dire le régime naturel d'écoulement pour la restitution des eaux à la mer.

Ce régime d'écoulement qui constitue notre appareil hydraulique est resté, à peu d'exceptions près, à l'état naturel, c'est-à-dire à l'état sauvage.

L'exemple des bienfaits produits par l'utilisation des eaux courantes ne nous manque pas : témoin les travaux exécutés en Espagne, en Hol-

Digitized by Google

lande, en Angleterre, en Allemagne, et, sur notre propre sol : dans les Vosges, le Limousin et les vallées du Midi de la France.

L'instabilité est l'inconvénient principal de notre régime actuel des eaux. Cette instabilité doit être attribuée à l'irrégularité de notre appareil hydraulique, jusqu'à présent insoumis à la discipline de la science.

Il s'agirait de substituer au régime variable et instable de nos cours d'eau un régime fixe et régulier. Le désordre provient uniquement de l'*irrégularité naturelle dans le profil du plan incliné sur lequel s'effectue l'écoulement de notre appareil hydraulique vers l'Océan.*

La cause perturbatrice étant définie, le remède consisterait à modifier les conditions d'inclinaison des eaux vers la mer.

Il suffirait pour cela de supprimer le profil naturel de nos cours d'eau, en lui substituant une série de plans d'eau réguliers et successivement subordonnés. Ce serait, en d'autres termes, la transformation du plan incliné de nos rivières en un escalier hydraulique.

La conséquence de ce système serait le maintien du régime du plein dans les rivières où, dans l'état actuel, l'eau tantôt manque tantôt surabonde. Ce régime du plein ne serait pas celui des crues, mais un point d'eau constant, réglé d'après l'appréciation exacte des ressources alimentaires disponibles.

Ce régime du plein serait maintenu à l'aide de deux conditions :

1° La régularisation normale des *déversoirs des barrages* et des *voies émissaires* de toute nature, disposées pour la retenue et la distribution des eaux, en ne laissant descendre à la mer qu'une portion du liquide la plus restreinte.

2° Par l'établissement de spacieux *réservoirs* créés dans l'amont du système pour emmagasiner une partie des eaux pluviales surabondantes en vue de les utiliser dans la saison d'été.

Ces réservoirs, véritables lacs artificiels, contiendraient sur des largeurs de plusieurs kilomètres des couches d'eau vive de 20 à 40 mètres d'épaisseur, suivant les formes des vallées abruptes qui auraient été choisies pour créer nos lacs artificiels.

Les cours d'eau de la France, depuis leur origine jusqu'à la mer, seraient subdivisés en une multitude de biefs régulièrement étagés et maintenus par des barrages.

Le régime d'écoulement des rivières étant ainsi réparti dans des bassins à niveau constant, il deviendrait alors facile de régulariser les différents services hydrauliques par un départ judicieux du liquide pour

Digitized by Google

ses diverses utilisations : l'*arrosage des terres*, *la force motrice des chutes d'eau*, *la navigation*, etc.

Nous indiquerons plus loin le service de défense contre les *inondations*, lequel service se réduirait à des mesures purement administratives.

Les conséquences de cette réforme seraient aussi importantes que nombreuses :

Les *vitesses* seraient supprimées sur le lit des rivières, pour être plus utilement localisées sur les chutes des barrages, où elles produiraient d'immenses forces hydrauliques.

Le mouvement d'écoulement s'effectuerait par un simple courant de superficie, déterminé par l'appel des déversoirs ou autres voies de distribution.

La suppression des vitesses mettrait fin à la dégradation des rivages, et aux encombrements des rivières dites *à fond mobile* dont le lit deviendrait stable. Il n'y aurait plus de transports de pierres, de cailloux, graviers, sables, etc.

En outre, l'établissement rationnel de réservoirs et de déversoirs, destinés à loger les eaux des grandes crues amènerait la suppression des inondations.

L'étendue linéaire de tous les cours d'eau de la France s'élève à 131,345 kilomètres, et leur pente moyenne est de 1^m,52 par kilomètre.

Les pentes moyennes dans chacun des grands bassins fluviaux sont très-différentes entre elles. Elles varient en effet de 0^m,95 à 2^m,28. Ces différences sont proportionnelles aux altitudes des faîtes où les fleuves prennent leurs sources,

La hauteur moyenne de pluie annuelle tombée à la surface de la France est d'environ 0^m,75.

Cette hauteur varie dans une certaine mesure, d'un bassin à l'autre, sous l'influence des vents locaux dominants.

D'après nos calculs, la quantité d'eau tombée en France pendant une année dépasse 400 milliards de mètres cubes.

Le volume d'eau évacuée en moyenne à la mer par nos fleuves grands et petits est, d'après les mêmes calculs, de 180 milliards par année.

D'après ces données, on peut admettre que la moitié environ de la

Digitized by Google

pluie tombée sur le sol est restituée directement à l'Océan par les voies fluviales.

L'autre moitié s'élève successivement dans l'atmosphère par voie d'évaporations alternatives.

Nous n'avons à nous préoccuper que du volume d'eau débité directement à la mer, le seul dont il soit en notre pouvoir d'administrer le cours.

Le volume total des eaux débitées annuellement à la mer (180 milliards de mètres cubes) correspond à raison de 10,000 mètres cubes par hectare à l'arrosage de 18 millions d'hectares, si ce volume pouvait être intégralement employé à l'irrigation.

De même ce volume appliqué à la mise en œuvre des forces motrices alimenterait simultanément 19,000 usines (du type par nous choisi en force à 10 chevaux-vapeur), soit une force de 190,000 chevaux-vapeur. Cette production de forces renouvelée seulement 60 fois sur des chutes successives avec la même eau, avant d'arriver à la mer, représenterait l'équivalent de la puissance énorme de 12 millions de chevaux-vapeur.

Si nous énonçons ici *les limites extrêmes* qu'il serait possible d'atteindre dans l'application des ressources offertes par notre appareil hydraulique, soit pour l'irrigation soit pour la création de forces motrices, c'est uniquement en vue de donner la mesure de sa puissance.

Irrigations. — La France possède 25 millions d'hectares de terres arables. Elle n'a que 5 millions d'hectares de prairies naturelles. C'est une proportion d'un hectare de pré pour 5 hectares en culture.

Or nous pourrions créer sur nos 25 millions de terres arables, à l'aide la masse disponible, une surface de prairies arrosées de 10 millions d'hectares; et nous conserverions en terres arables une surface réduite à 15 millions d'hectares.

Cette surface de terre arable, réduite à 15 millions d'hectares (au lieu de 25) produirait au moyen de l'augmentation des engrais, due à la présence d'un bétail plus nombreux, une récolte supérieure à celle que nous cueillons aujourd'hui.

La France possède aujourd'hui 200,000 hectares de terres disposées pour recevoir l'irrigation. Mais il existe une telle irrégularité dans beaucoup d'appareils de distribution que l'on peut réduire la superficie régulièrement arrosée au chiffre de 100,000 hectares au plus pour toute la France.

Digitized by Google

Or dans beaucoup de contrées on estime que l'irrigation judicieuse quadruple et même parfois décuple le produit du sol.

En tenant compte du revenu actuel des terres et de l'augmentation assurée aux récoltes par une irrigation régulière, on peut avancer que sur 10 millions d'hectares, on obtiendrait en France une plus-value de 1 milliard 700 millions de francs en revenu brut annuel, et 1 milliard 200 millions en produit net.

Et en prenant pour base le $\frac{1}{10}$ seulement de la plus value de 1 milliard 700 millions de revenu brut, on obtiendrait pour la perception de l'impôt foncier un excédant annuel de 85 millions.

Forces motrices. — La création d'une masse énorme de nouvelles forces motrices sur les cours d'eau permettrait aux industries manufacturières de se répandre à la surface du territoire français dans les meilleures conditions d'économie. La conquête d'un ensemble de forces hydrauliques, s'élevant à 1.600.000 chevaux-vapeur réaliserait pour l'industrie nationale (eu égard au coût de la force d'un cheval-vapeur obtenu au moyen de la houille) un bénéfice annuel de près de 600 millions de francs.

Une autre conséquence de la transformation projetée de notre appareil hydraulique, serait la grande révolution économique dans l'appropriation du sol, facile à réaliser dans toute la France, au profit des travailleurs de l'Industrie.

Rivières à marées. — Lorsque nous eûmes entrevu la possibilité pratique de supprimer le plan incliné des rivières, en lui substituant une série graduée de plans d'eau horizontaux, la question de la réforme des embouchures dut en être la conséquence.

Il s'agirait d'élever le point d'eau, dans l'aval de nos fleuves, à un niveau supérieur, 1/2 mètre par exemple, à celui des plus hautes marées, au moyen d'un obstacle, interposé transversalement à l'embouchure du fleuve.

La pénétration du fleuve par la mer n'est pas une nécessité du régime naturel. C'est un fait désordonné qui est en notre pouvoir de faire disparaître.

L'Océan se comportera devant le nouveau barrage maritime comme il agit sur les côtes voisines.

Quant au déversement du fleuve dans la mer, par dessus le barrage, il s'agirait uniquement d'émettre un volume de liquide variable suivant

Digitized by Google

les saisons, mais qui deviendrait bien plus régulier dans le système proposé.

La longueur du barrage maritime étant très-développée, le front du déversoir serait étendu de manière à suffire à toutes les éventualités du débit fluvial, qui ne tombera plus à la mer qu'en lames très-minces.

Un système de vannes supplémentaires de décharge sera établi pour l'évacuation d'un grand volume d'eau à la marée basse, à l'époque des crues désormais disciplinées.

Pour accéder au vaste lac formé par le bief inférieur et final de chaque fleuve, il faudra créer un avant port à niveau variable, accessible en permanence, et quelle que soit l'aire du vent. Les navires monteront de l'avant-port dans le fleuve et dans les bassins du port sans aucun temps d'arrêt par des *écluses spéciales* disposées à cet effet, et dont nous nous proposons de reparler ultérieurement.

L'avant port sera formé par deux jetées obliquement enracinées à la plage, système économique qui a l'avantage d'inscrire un périmètre intérieur assez étendu, où les navires s'étalent avec aisance dans le calme.

Navigation. — La construction des chemins de fer a trop détourné depuis vingt-cinq ans l'attention publique et celle du gouvernement de l'amélioration des voies navigables réclamée par l'industrie et le commerce.

Dans notre plan d'ensemble tous les biefs des cours d'eau étant maintenus au niveau plein, sont dans des conditions de navigabilité, depuis leur source jusqu'à la mer.

Il y aura lieu de parler plus tard, et dans un autre travail spécial sur la navigation intérieure, de parler du tirant d'eau a établir en vue de faire pénétrer les navires de mer dans les diverses régions du territoire. A cette question se rattache l'étude de Paris-port de mer étudiée par nous en collaboration avec avec l'ingénieur Frimot, dès 1830.

Pisciculture. — D'après nos divers calculs, et en tenant compte des lacs réservoirs projetés dans notre projet, nous avons estimé que la superficie totale des cours d'eau de la France serait de 325.000 hectares, et en multipliant cette surface par la moyenne des profondeurs des rivières (soit 3m,50), nous obtenons un volume liquide de 11 milliards de mètres cubes.

Cet énorme volume incessamment renouvelé par le courant de su-

Digitized by Google

perficie, mais dont la section inférieure serait soumise au régime du calme, si favorable au développement de la végétation herbacée constituerait un incomparable atelier de pisciculture.

En évaluant à 150 kilog. par hectare le produit annuel moyen en viande de poisson, au prix très-réduit de 0f,72 le kilog., on obtiendrait un revenu net de 108 francs par hectare, et un produit total annuel de 35 millions de francs.

Ce résultat pourra paraître exagéré, mais il faut considérer qu'aujourd'hui la production du poisson est abandonnée à la simple nature et qu'elle serait tout autre dans un régime ménagé par une pisciculture rationnelle.

Inondations. — Le fléau actuel des inondations ne saurait être attribué qu'à l'imprévoyance de l'homme.

Le problème des inondations ne peut être résolu que par l'adoption d'un plan d'ensemble pour l'aménagement des eaux courantes, en vue de leur utilisation.

L'examen de la question des inondations, se trouvera en grande partie résolue, en la combinant avec l'agissement des fonctions utilitaires de l'appareil, telles que l'irrigation, les forces motrices, la navigation, etc. La question des inondations se réduira à cette solution bien simple : Quand les crues mettent beaucoup d'eau dans l'appareil, appliquer un système de réservoirs ou de déversoirs capables d'emmagasiner ou d'émettre ces crues dans la proportion de leur afflue.

Cette question considérable en elle-même ne peut être au reste qu'effleurée dans ce rapide résumé. Nous en avons parlé plutôt pour mémoire, car elle demande évidemment à être traitée à fond et d'une manière spéciale.

Nous nous arrêterons pour aujourd'hui, avec l'espoir que nous aurons bientôt l'occasion de reparler de cet utile projet. Nous mentionnerons alors nos propositions et nos réflexions dans le but de former une Société d'études pour cette œuvre nationale, capable de transformer d'une manière extraordinaire les richesses de la France.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

Cette Société se compose de 3,030 membres et forme 22 groupes qui ont leur siége à :

Aix-la-Chapelle. — Berge, à Elberfeld. — Berlin. — Brunswick. — Breslau. — Hanovre. — Mannheim. — Coblenz (Rhin). — Dussdorf (Bas-Rhin). — Poméranie. — Oberhausen (Bas-Ruhr). — Thuringen. — Dortmund (Westphalie). — Cologne. — Harz. — An-der-Lenne. — Magdebourg. — Haute-Silésie. — Saarbruck (Palatinat). — Saxe-Anhalt. — Siegen.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE JANVIER 1876.

Calcul sur la vapeur surchauffée, par le Dr J. Weyrauch de Stuttgart.
Calcul et représentation graphique des supports paraboliques, par le docteur Stahl.
Remplacement de deux ou plusieurs excentriques par un seul en changeant la position du point d'attache, par Holdinghausen.
Extraction du soufre des pyrites, par le Dr Hofmann.
Frein pour benne à charbon, par Steinhoff.
Crochets d'attelage pour wagons, par F. de Lœben.

FÉVRIER.

Théorie sur les propulseurs à réaction (navires), par Grashof.
Calcul sur la vapeur surchauffée (fin), par Veyrauch.
Turbine de Zeidler à régulateur automatique, par Zeidler.
Communication sur les chaudières tubulaires, par Luders.

MARS.

Remplacement de deux ou plusieurs excentriques par un seul, en changeant la position du point d'attache (fin), par Holdinghausen.
Etudes sur les produits chimiques exposés à Vienne, par List.
Machine et chaudière de vapeur à hélice l'Afrique, par Wehrli.

AVRIL.

Travail de la vapeur, par Weyrauch.
Machine à forer les trous de mines (Système Dubois et François), par Héberlé.
Diagramme de la machine actionnant les pompes de l'île Seeland (Danemark), par Brunner.

MAI.

Communication sur la détente Meyer, par Ebel.
Fabrication par voie chimique de la pâte à papier de bois, par Rosenhain.

Digitized by Google

Régulateur de Huchen par cataracte, pour machine élévatoire, par Sud
La vitesse du piston dans les machines élévatoires, par Riehn.
Utilisation des matières fécales humaines comme éclairage et chauffage, Ficher.

JUIN.

Calcul et tracé graphique des supports hyperboliques, par W. Stahl.
Fixation nouvelle des tourillons des laminoirs à trois cylindres, L. Mannstædt.
Détente Meyer modifiée, par A. Musmann.
Fabrication des capsules de guerre, par Glomsda.

JUILLET.

Machine à forer les trous de mines (Dubois et François), par Héberlé.
Accidents de chemins de fer et les moyens de les prévenir, par Daelen.
Transmission de la force motrice par corde en chanvre, par Keller.
Diagramme des machines à vapeur, par Richard.
Machine soufflante verticale pour haut-fourneau, de Mulheim, par Schline
Grillage des pyrites fines dans un four, par Hasenclever.
Mesure de la vitesse du Rhin à Bâle, par Grebehau.

AOUT.

Machine à forer les trous de mines, Mauget Lippmann et Kind Chaud Brussel, par Lueg.
Appareils de sûreté pour chaudières à vapeur, par Rosenkranz.
Histoire de l'invention de bateau à vapeur, par Gerland.
Chaudière tubulaire de Belleville, par Piedbœuf.

SEPTEMBRE.

Régulateur automatique de détente, par Starke.
Machine horizontal de Woolf pour pompe, par Schlink.
Ramasse-courroie, par Bach.
Perçage des galéries (fin), par Lueg.
Four continu pour la cuisson des briques, par Hensinger.

OCTOBRE.

Calcul des dimensions des cheminées de fabrique, par Pinzger.
Clarification des eaux, d'après Berenger Stingh, par Muller.
Rapport sur l'industrie du papier en France, par Durre.

NOVEMBRE.

Plan incliné pour réparer les carènes des navires dans le port de Palerme, par Theiss.
Cintrage des rails, par Vojacek.
Rails pour tramway, par Hensinger.
Vitesse du piston des pompes, par Riehn.

N. SERGUEEFF.

Paris. — Imprimerie E. CAPIOMONT et V. RENAULT, rue des Poitevins, 6.

Digitized by Google

N DU MATÉRIEL DES AN
la Hongrie, la Carintl

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

	1869.	1870.	SERVATIONS.
	k.		
	8,946,062	8,085,4	
	9,371,373	8,472,6	
	4.75	4.79	
	195,031,789	174,571,3	LONGUEUR des lignes exploitation.
3	8,084,908f 55	8,021,088f	k.
			1860. 723
			1861. 1,025
			1862. 1,150
	fr.	fr.	1863. 1,278
	0.171	0.175	1864. 1,316
	0.257	0.268	1865. 1,526
	0.028	0.033	1866. 1,526
	0.005	0.005	1867. 1,580
	0.177	0.199	1868. 1,665
	0 047	0.048	1869. 1,665
			1870. 1,665
	0.067	0.074	1871. 1,665
	0.121	01152	1872. 1,665
	0.016	0.021	1873. 1,665
	0.015	0.017	1874. 1,665
	0.904	0.992	1875. 1,665
	54.6 %	50.3 %	

TIF
et des prix de revient
1865 à 1875 inclusivem

AIN.	TRAVAIL TOTAL EN TONNES kilométriques.
yenne.	
177.4	1,058,224,000
183.5	1,444,133,000
177.35	1,305,630,000
189.8	1,688,803,000
202.85	1,814,497,236
200.05	1,617,522,574
211.55	1,877,411,575
210.65	1,882,639,619
209.35	1,961,989,938
205.685	1,812,147,473
207.65	1,858,139,115

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(MARS ET AVRIL 1877)

N° 40

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Fers à cheval* (*Fabrication mécanique des*), lettre de M. Faure-Beaulieu (séance des 2 mars et 6 avril, pages 186 et 211.)

2° *Port de Trieste* (Mémoire de M. Bömches), (séance du 2 mars, page 189).

3° *Accouplement de deux arbres parallèles tournant en sens contraire*, par M. Charles Bourdon (séance du 2 mars, page 196).

4° *Bassin houiller de la Ruhr* (Notes d'un voyage dans le), par MM. de Loriol et Chansselle (séance du 16 mars, page 199).

5° *Aciers Bessemer aux États-Unis* (Accroissement de production des), note de M. Raymond (séance du 16 mars, page 200).

6° *Chemin de fer de Galata à Péra* (Analyse de l'ouvrage de M. Gavand), par M. Molinos (séance du 16 mars, page 202).

7° *Assurances sur la vie* (Représentation graphique des tarifs des), par M. Fouret (séance du 16 mars, page 203).

Digitized by Google

8° *Roues de wagons en fonte trempée* (Fabrication des) aux ateliers d'Altona (chemin de fer de Pensylvanie), par M. Regnard (séance du 16 mars, page 208).

9° *Constructions japonaises* (Analyse d'un Mémoire de M. Lescasse sur les), par M. Barrault (séance du 6 avril, page 212).

10° *Noir animal sur les jus sucrés* (Action du), par MM. Champion Pellet (séance du 20 avril, page 218).

11° *Ardoises* (Nouveau système d'attaches pour consolider les), par M. Regnard (séance du 20 avril, page 220).

12° *Tampons obturateurs creux servant au tamponnement en cas d'avaries des tubes de chaudières*, par M. Regnard (séance du 20 mars, page 221).

13° *Chemins de fer de la Turquie d'Asie*, par M. Rolin (séance du 20 avril, page 223).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

1° De M. Bidou, membre de la Société, une note sur la *Mise en feu du fourneau n° 1 des usines de Moulaine* (*Meurthe et Moselle*).

2° De M. Weil, membre de la Société, un rapport sur les *Gisements de charbon du Zsilthal, de minerais de fer de Gayalar, les établissements métalliques du gouvernement hongrois.*

3° De M. Regnard, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Rubans et velours, les soies brutes et ouvrées à l'Exposition universelle de* 1876 *à Philadelphie*, et un exemplaire de l'*Album de Keystone Bridge Company's.*

4° De M. Casalonga, membre de la Société, un exemplaire d'une étude sur les *Engrenages.*

5° De M. Dubus, ancien secrétaire général de Compagnies de chemins de fer, un exemplaire de ses notes et réflexions sur les *Chemins de fer devant les pouvoirs publics.*

6° De M. Henri Mathieu, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur l'*Application de la lumière électrique à l'éclairage des ateliers couverts, halles, magasins, etc., etc.*

7° M. Duval, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des

Digitized by Google

constructions à l'Exposition, une collection des *Autographies des constructions métalliques de l'Exposition universelle de* 1878.

8° De M. Loriol, membre de la Société, un exemplaire de deux fascicules sur son *Voyage dans le bassin de la Ruhr*.

9° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur la *Législation prussienne des mines, traduite par MM. Chansselle et Cuny*.

10° De M. Thirion (Charles), membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Dessins et modèles de fabriques en France et à l'étranger*.

11° De M. Lacroix, éditeur, les 14 livraisons déjà parues de l'ouvrage de M. Vigreux, sur l'*Art de l'Ingénieur*.

12° De M. Dunod, éditeur, un exemplaire de ses cinq *Agendas* sur la *Construction*, les *Mines*, la *Mécanique*, la *Chimie*, les *Télégraphes, postes et transports*.

13° De M. Louis Gouin, ingénieur cantonnal des ponts et chaussées à Lausanne, deux exemplaires de Rapport présenté au Conseil d'État du canton de Vaud, sur les conditions de l'*Écoulement du Rhône à Genève*, par MM. Pestalozzi et Legler.

14° De M. Demeule, membre de la Société, un exemplaire de son rapport fait à la Société industrielle d'Elbeuf, sur la *galerie des Machines à l'Exposition internationale de Vienne en* 1873.

15° De madame Michel Alcan, un exemplaire des *Rapports du Jury à l'Exposition universelle de* 1867, ayant appartenu à son mari.

16° De M. Jourdain (Maurice), membre de la Société, un exemplaire du deuxième Bulletin de l'*Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur*.

17° De M. Regnard, membre de la Société, une collection complète des Bulletins de l'*Union céramique et chaufournière de France*.

18° De M. Deby, membre de la Société, un exemplaire de son *Report on the progress of the Iron and steel industries in foreign countries*.

19° *Académie royale des Lincei*, les numéros 3 et 4 de leur publication.

20° *Aéronaute* (L'), bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de novembre et décembre 1876.

21° *Annales industrielles*, les numéros de janvier et février 1877.

Digitized by Google

22° *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de novembre et décembre 1876.

23° *Annales des mines*, le nnméro de la 6e livraison de 1876.

24° *Annales du Génie civil*, les numéros de janvier et février 1877.

25° *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros de novembre et décembre 1876.

26° *Annales de la construction* (Nouvelles), les numéros de janvier et février 1877.

27° *Annales des chemins vicinaux*, les numéros de janvier et février 1877.

28° *Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France*, le numéro de son Bulletin.

29° *Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro de son bulletin.

30° *Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros de janvier et février de son bulletin de l'année 1877.

31° *Bulletin officiel de la Marine*, les numéros de mars et avril de l'année 1877.

32° *Comité des forges de France*, les numéros 121 et 122 du bulletin.

33° *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros de mars et avril 1877.

34° *Courrier municipal* (journal), les numéros de janvier et février 1877.

35° *Écho des Mines et de la Métallurgie* (journal), les numéros de janvier, février, mars et avril 1876.

36° *Écho Industriel*, les numéros janvier et février 1877.

37° *Économiste* (L') (journal), les numéros de août 1876.

38° *Encyclopédie d'architecture*, les numéros de janvier et février 1877.

39° *Engineering*, les numéros de mars et avril 1877.

40° *Engineering News an Illustrated Weekly Journal* (de Chicago), les numéros de janvier et février 1877.

Digitized by Google

41° *Gazette des Architectes*, le numéros de janvier et février 1877.

42° *Gazette du Village*, les numéros de janvier et février 1877.

43° *Iron* journal *of science, metals et manufacture*, les numéros de novembre et décembre 1876.

44° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1875 et 1876.

45° *Institution of Mechanical Engineers*, les numéros du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

46° *Institution of Mining Engineers americans*, les numéros de leurs *Transactions*.

47° *Journal d'Agriculture pratique*, les numéros de mars et avril 1877.

48° *Journal des Chemins de fer*, les numéros de mars et avril 1877.

49° *Journal de l'Éclairage au gaz*, les numéros de mars et avril 1877.

50° Journal *of the American Society of Civils Engineers*, les numéros de novembre et décembre 1876.

51° *Houille* (*La*) (journal), les numéros de mars et avril 1877.

52° *Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, les numéros de novembre et décembre 1876.

53° *Musée Royal de l'industrie de Belgique*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1876 de son bulletin.

54° *Moniteur des chemins de fer* (journal), les numéros de mars et avril 1877.

55° *Moniteur industriel belge*, les numéros de mars et avril de l'année 1877.

56° *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros de janvier et février 1877.

57° *Moniteur des travaux publics* (journal), les numéros de mars et avril 1877.

58° *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (journal), le numéro 1 de 1877.

59° *Portefeuille économique des machines*, les numéros de mars et avril 1877.

Digitized by Google

60° *Réforme économique*, les numéros de mars et avril 1877.

61° *Revue Métallurgique* (*La*), les numéros de janvier et février 1877.

62° *Revue maritime et coloniale*, le numéro de janvier 1877.

63° *Revue d'architecture*, les numéros 1 et 2 de l'année 1877.

64° *Revista de obras publicas*, les numéros de janvier et février 1877.

65° *Revue des Deux Mondes*, les numéros de mars et avril 1877.

66° *Revue horticole*, les numéros de mars et avril 1877.

67° Revue *les Mondes*, les numéros de mars et avril 1877.

68° *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, le numéro de décembre 1876.

69° *Société de Physique*, le numéro de son bulletin du premier trimestre de l'année 1877.

70° *Société des Ingénieurs anglais*, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1876 et 1877.

71° *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre 1876.

72° *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de novembre et décembre 1876 de son bulletin.

73° *Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens*, les numéros du premier trimestre de 1877 de leur *Revue périodique*.

74° *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, le numéro du premier trimestre 1877 de son bulletin.

75° *Société d'encouragement*, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

76° *Société de géographie*, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

77° *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros du quatrième trimestre 1876 de son bulletin.

78° *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du premier trimestre 1877 de son bulletin.

79° *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du premier trimestre 1877 de son bulletin.

80° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le premier numéro de son bulletin de 1877.

Digitized by Google

81° *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin de janvier et février 1877.

82° *Société scientifique industrielle de Marseille*, le numéro du premier trimestre de 1877 de son bulletin.

83° *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 1 et 2 de 1877 de son bulletin.

84° *Société des Arts d'Edimburgh*, le troisième numéro de 1876 de son bulletin.

85° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XXV de la quatrième série de son bulletin.

86° *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du premier trimestre de 1877.

87° *Société industrielle de Rouen*, le numéro du premier trimestre de l'année 1877 de son bulletin.

88° *Société technique de l'Industrie du Gaz en France*, le numéro de son bulletin.

89° *Semaine financière* (journal), les numéros de mars et avril 1877.

90° *Sucrerie indigène* (*La*), par M. Tardieu, les numéros de janvier et février 1877.

91° *Société de Géographie de Marseille*, le numéro du premier trimestre de 1877 de son bulletin.

92° *The Engineer* (journal), les numéros de mars et avril 1877.

93° *Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du premier trimestre 1877 de son bulletin.

94° *Union céramique et chaufournière de la France*, les numéros de janvier et février 1877 de son bulletin.

95° De M. Carimantrand, membre de la Société, un exemplaire du *Tableau graphique des hauteurs d'eau de pleine mer observées sur le point le moins profond du chenal de la Seine* (*Banc-des-Meules*), *pendant l'année* 1876.

96° De M. de Frost, directeur du journal *Engineering News an illustrated weekly*, les numéros de son journal et un exemplaire de

Digitized by Google

l'ouvrage de M. le professeur Greene sur la *Traphical analysis of Koof Trusses.*

97° De M. de Nadault de Buffon, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite, un exemplaire de son ouvrage sur les *Considérations sur le régime légal des eaux de sources naturelles et artificielles.*

98° De M. Julien Grand, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un système de *Traverses métalliques pour chemins de fer.*

99° De M. Dez, membre de la Société, de la part de M. Gaetano Tenore, ingénieur, un exemplaire de son ouvrage intitulé : l'*Industrica del Ferro E Dell' Acciaio in Italia Dapo il* 1860.

100° De M. Josh de Burgue, un exemplaire du traité sur les *Machines destinées à l'enfonçage et à l'extraction dans les mines et plans inclinés*, par John Richardson.

101° De M. Poillon, membre de la Société, un Mémoire sur la *Théorie des pompes centrifuges simples.*

102° De M. Leroide, membre de la Société, un Mémoire sur le *Procédé de préparation du bois*, dit *thermo-carbonisation*, système John Blythe.

103° De M. Jules Garnier, membre de la Société, une Note sur les *Traitements des minerais à base d'oxyde de Nickel*, à l'usine des Septèmes.

104° De M. Arson, membre de la Société, une Note sur un *Four à réchauffer les bandages de roues.*

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de mars :

MM. Bleythe, présenté par MM. Th. Berton, H. Mathieu et E. Moreau.
Braban, présenté par MM. Cornaille, Rey et Wiart.
Clausel, présenté par MM. Hallopeau, Lévy-Alvarès et Périssé.
Couriot, présenté par MM. Ermel, Dupont et Hallopeau.
Dubois, présenté par MM. Levassor, Périssé et Pichault.
François, présenté par MM. Levassor, Périssé et Pichault.
Gasc de Beff, présenté par MM. Fraenkel, Richard et Spée.
Godefroy, présenté par MM. Robin, Love et Paul Dubos.
Halot, présenté par MM. E. Thomas, Richard et Spée.

Digitized by Google

MM. Laurent, présenté par MM. Bréguet père, Bréguet fils et De Dion.
Mardelay, présenté par MM. Armengaud jeune fils, Brüll et De Dion.
Salin, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Soulié, présenté par MM. Carimantrand, Chabrier et Mallet.

Au mois d'avril :

MM. Clerfayt, présenté par MM. Fraenkel, Gasc et Jordan.
Cornesse, présenté par MM. Hallopeau, Périssé et Rubin.
Couturaud, présenté par MM. G. Dumont, A. Moreau et Richard.
Delage, présenté par MM. Armengaud aîné, Armengaud aîné fils et Richard.
Desmarest, présenté par MM. Chabrier, Donnay et Thomasset.
Jauge, présenté par MM. De Dion, Goschler et Sauvan.
Jury, présenté par MM. Robin, Fraix et Huguet.
Kern, présenté par MM. Hodgson, Vigreux et Waker.
Ledeuil, présenté par MM. Contamin, Cornuault et Demimuid.
Legrand, présenté par MM. Lecherf, Mazure et Urban.
Lelorrain, présenté par MM. Chabrier, Hallopeau et Mouchelet.
Lequeux, présenté par MM. Barrault, J. Farcot et P. Farcot.
Leullier, présenté par MM. Guérard, Lebargy et Loustau.
Maillard, présenté par MM. Du Roy de Blicquy. Lecherf et Masure.
Manès, présenté par MM. Cazes, Molinos et Rancès.
Marès, présenté par MM. Peligot, Richard et Vée.
Pontzen, présenté par MM. Chabrier, Desgrange et Gottschalk.
Ronssin, présenté par MM. Chabrier, Donnay et Hallopeau.
Rudler, présenté par MM. Bourdais, De Dion et Yvon-Villarceau.
Schmidt, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Périssé.
Villemer, présenté par MM. Carimantrand, Guérin de Litteau et Marché.

Comme Membres associés :

MM. Mèeus, présenté par MM. Badois, Mallet et Marché.
Muller, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Ollivier.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

Séance du 2 Mars 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à neuf heures.

Le procès-verbal de la séance du 16 février est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Billieux, membre de la Société.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de madame Michel Alcan lui faisant part qu'elle vient, au nom de ses enfants et au sien, offrir à notre Bibliothèque, l'exemplaire des *Rapports des Membres du Jury de l'Exposition universelle de* 1867, ayant appartenu à son mari dont les sentiments d'attachement pour notre Société étaient si connus.

Des remerciements seront adressés à madame Alcan, et il sera inscrit à l'intérieur des volumes, une mention rappelant que ces Rapports ont été offerts par la famille de Michel Alcan, ancien Président de la Société des Ingénieurs civils.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante, adressée par M. Léon Faure-Beaulieu, membre de la Société.

« Monsieur le Président,

« J'ai regretté de n'avoir pas assisté à la Séance du 19 janvier dernier, dans laquelle M. Lockert, dans une communication qu'il a faite sur la fabrication mécanique des fers à cheval, établit que l'outillage de MM. Thuillard et Dumont, installé aux forges de l'Espérance, à Louvroil, près Maubeuge, contient un très-grand perfectionnement. Il ajoute que cet outillage « paraît donner les résultats les plus satisfaisants et pour ainsi dire la perfection. »

« On a comparé cette fabrication avec celle installée à Joinville-le-Pont,

Digitized by Google

dans l'usine de M. Pilté. M'étant occupé de cette dernière installation, voisine de mon établissement, je crois pouvoir présenter quelques détails, quelques indications nouvelles qui compléteront la communication de M. Lockert et de nature à intéresser la Société.

« L'usine de Joinville-le-Pont produit, comme à Louvroil, 3,000 fers par journée de 10 heures de travail, mais avec six ouvriers seulement au lieu de huit. L'outillage d'un assortiment comprend :

1° Une cintreuse;
2° Un marteau-pilon;
3° Une poinçonneuse;
4° Une meule à émeri.

« La première opération du travail dont il n'a pas été parlé dans l'exposé de M. Lockert est celle du laminage en barres des lopins à bosses, spécialement pour les fers de derrière. Ce laminage des barres de lopins se fait à Joinville, dans l'usine de M. Pilté, dans des conditions parfaites et très-économiques. Au moyen d'un seul passage au laminoir des fers marchands on obtient, par suite d'une disposition particulière, des lopins ayant dans toutes leurs parties des dimensions telles qu'ils arrivent après le cintrage et le martelage à remplir exactement la forme des matrices, même les plus compliquées.

« La cintreuse adoptée à Joinville est verticale et à galets. Elle a été imaginée par MM. Bézy et Pilté. Elle est beaucoup plus simple, plus robuste et de moindre entretien que celle à coquilles qui a été décrite; elle constitue un grand perfectionnement dans cette industrie. Sa grande puissance lui permet même de laminer complétement les lopins qui ont besoin d'une certaine déformation. Elle marche à une grande vitesse et ne nécessite pas d'arrêt pour le placement du lopin. C'est une cause certaine d'augmentation de production puisqu'on supprime la perte de temps due à l'embrayage de la machine. On peut régler la vitesse de la cintreuse suivant l'habileté de l'ouvrier qui la sert. Les lopins, au sortir du four, passent directement à la cintreuse, le chauffeur ne faisant que les placer à la portée du cintreur. L'alimention se fait donc sans interruption aucune.

« Le fer cintré est encore très-chaud quand il arrive au marteau-pilon; il peut donc presque toujours d'un seul coup énergique recevoir en même temps les étampures, l'ajusture et le complément de la déformation. Ces dernières conditions sont remplies par les profondeurs variées de l'étampe et de la matrice. C'est sous cette action puissante du pilon que se forment quelques bavures qui doivent être enlevées à la meule, sans qu'il soit question de polissage. Au lieu d'être l'indice de défauts, c'est, au contraire de ce qu'a affirmé M. Lockert, le meilleur certificat que l'on puisse fournir d'un bon martelage, puisque ces bavures pourraient être évitées en frappant moins fort le fer obtenu avec un lopin légèrement plus faible.

« On a beaucoup insisté sur le martelage répété et sur l'efficacité des deux pilons employés à Louvroil. Le martelage cependant n'a d'efficacité,

Digitized by Google

au point de vue de l'amélioration de la matière, que sous le premier pilon. Le pilon à parer de Louvroil frappe très-faiblement, pour ne pas déformer les étampures ; il ne peut donc produire d'effet sur la nature du fer, refroidi déjà au moment où il arrive sous cet appareil. Ces pilons sont à simple effet et pèsent seulement 250 kilos. Ceux de Joinville-le-Pont pèsent 300 kilos et sont à *double effet ;* on voit donc que ces derniers produisent un effort plus énergique. C'est ce qui explique qu'il suffise d'un seul passage au marteau-pilon pour obtenir une grande perfection de travail. En effet, s'il existe à Joinville deux pilons, un seul est en service ordinaire. Le deuxième pilon permet d'éviter les pertes de temps dues au montage ou au démontage des matrices et des étampures, aux réparations que peut nécessiter l'entretien de l'outillage.

« Ce deuxième pilon peut de plus fonctionner concurremment avec le premier, mais pour les petits fers seulement. La cintreuse, dans ce cas, peut alimenter les deux marteaux et la production se trouve ainsi portée de 3,000 à 4,500 fers avec une augmentation de deux ouvriers seulement dans le personnel.

« On voit donc que l'installation de Joinville-le-Pont, faite par M. Pilté, peut rivaliser avec les plus récentes et qu'elle donne même un avantage sérieux au point de vue de l'économie de la main-d'œuvre et de la simplicité de son outillage. Cette fabrication installée depuis plusieurs années a donné les meilleurs résultats ; la perfection du travail ne laisse rien à désirer et peut soutenir la comparaison des meilleurs fers fabriqués à la main. Je crois donc que M. Lockert exagère un peu en affirmant d'une manière certaine devant la Société que « l'usine de Louvroil est la seule capable, à l'heure qu'il est, de donner des produits appropriés à toutes les formes de pied et à toutes les exigences. » La question de déformation et d'ajusture est une étude très-importante de cette industrie nouvelle. Il serait difficile de faire admettre comme nouveautés des détails de ferrure qui sont connus des vétérinaires, des maréchaux pour lesquels ils font partie des connaissances élémentaires de leur métier. Il est bon de croire que les insdustriels qui ont monté des fabrications économiques de fers à cheval n'ont pas attendu jusqu'à ce jour pour s'occuper de ces questions.

« Qnant au prix indiqué par M. Séverac pour la vente du matériel qui a été faite l'année dernière, il est parfaitement exact et ne résulte pas de conditions *très-spéciales*, comme a répondu M. Lockert. Ce prix a servi de base pour traiter l'exploitation du brevet de M. Pilté en Belgique et la création de plusieurs usines de ce genre.

« J'ose espérer, Monsieur le Président, que ces quelques explications seront de nature à intéresser la Société des Ingénieurs civils. La récente communication de M. Lockert, qui a été accueillie avec faveur, pourra, je pense, attirer l'attention des hommes compétents sur cette fabrication toute française et permettra, peut-être, de lui faire réaliser de nouveaux progrès.

« Je me tiens du reste, à la disposition des membres de la Société que

Digitized by Google

cette question pourrait intéresser, pour leur donner tous les détails qu'ils désireraient.

« Veuillez agréer, etc. »

M. Chabrier donne lecture de la Note de M. Bömches sur le port de Trieste, dont voici le résumé :

La rade de Trieste ne satisfaisait en aucune manière à ce que l'on exige d'un port moderne et bien installé.

M. Paulin Talabot présenta un projet en février 1862, proposant la transformation de la rade entière en un port fermé. Ce travail servit de base à des études qui furent faites par différentes commissions locales et ministérielles, et qui aboutirent au projet arrêté définitivement par le gouvernement, avec quelques modifications qu'y apporta M. H. Pascal, alors ingénieur en chef des ponts et chaussées à Marseille.

D'après ce projet, qui est en cours d'exécution, le nouvel établissement commercial embrasse la moitié N.-E. de la rade; l'alignement des quais a 1,200 mètres et il s'en détache quatre môles, formant entre eux trois bassins égaux, et abrités contre les vents du large, par une digue extérieure et parallèle au rivage. Les bassins sont mis en communication par un large chenal, ménagé entre les têtes des môles et la digue.

Le nouveau port ainsi créé, offre à la navigation de vastes terrains le long des quais, d'une étendue de 21,82 hectares, quatre môles assez larges pour recevoir des hangars-abris et les voies de fer et de terre convenables; un développement de quais de 3,550 mètres de longueur, et enfin trois vastes bassins d'une surface totale de 17,80 hectares, pourvus d'un tirant d'eau minimum de 8^{m},50 au-dessous de zéro.

Le système de construction, choisi par le gouvernement, consiste dans l'emploi combiné des enrochements et des blocs artificiels, formant la fondation des murs de quais.

L'exécution des travaux indiqués a été confiée par l'administration de l'État Impérial-Royal à la Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche, par un traité à forfait s'élevant à la somme de 36,710,000 francs.

Le relevé des profondeurs, opéré au commencement de 1867, a conduit aux résultats suivants :

1° Le plus grand tirant d'eau de 16 à 17 mètres, se trouve sur l'emplacement de la digue et va en décroissant vers la côte;

2° Les profondeurs, aux têtes des môles, varient de 10^{m},60 à 14^{m},08, et aux angles intérieurs des bassins de 5^{m},80 à 8^{m},80, de telle sorte, que l'emplacement des môles présente des plans inclinés, dont la pente maxima est de 6,6 p. 100 (Môle I), et minima de 2,7 p. 100 (Môle II).

Les sondages pratiqués pour reconnaître la nature du terrain formant le fond, ont été poussés jusqu'à la profondeur de 20 mètres au-dessous du fond ou à celle de 33 mètres au-dessous du niveau des basses mers; ils ont conduit au résultat suivant :

Digitized by Google

Le terrain est composé uniquement de vase (marne dissoute), noirâtre et liquide dans les couches supérieures, plus consistante, et mêlée d'argile bleuâtre dans les couches inférieures, et se transformant enfin dans des profondeurs de 15 à 20 mètres en argile, plus ou moins compacte, et contenant des traces de sable.

Les sondages n'ont pas été poussés plus loin, vu que le système employé ne demande pas être fondé sur des points fixes. Ainsi la profondeur de la couche de vase n'est pas connue aujourd'hui.

La fourniture maxima de matériaux a été atteinte en 1871, où le cube de 1,043,900 a été employé, ce qui répond (eu égard aux 164 journées de travail dans ladite année) à un travail journalier de 4,000 mètres cubes.

La nature vaseuse du sol (les sondages poussés jusqu'à 20 mètres de profondeur n'ayant rencontré que de la vase, sans avoir atteint le terrain solide) exige l'emploi d'un système de construction qui paralyse les inconvénients résultant de la mobilité du terrain et qui garantisse la solidité des murs de quais malgré les mouvements subis.

Quand on a à construire sur un terrain vaseux, les inconvénients consistent surtout dans la difficulté de lutter contre les masses énormes en mouvement, dont les moments, les directions et les durées ne peuvent nullement être précisés. Dans ces conditions, la formation sur pilotis est exclue dès l'abord, car ceux-ci devraient atteindre de très-grandes profondeurs et ne garantiraient nullement la stabilité de l'ouvrage, vu la puissance extraordinaire de la couche de vase. D'autre part, l'usage de la fondation pneumatique exigerait des frais excessifs par suite de la profondeur énorme à laquelle le terrain solide sera rencontré. Reste alors le seul moyen à la fois efficace et économique consistant dans l'amélioration du terrain par l'introduction de bons matériaux, afin de préparer au mur de quai une fondation solide.

Ce système, employé avantageusement dans les ports français, consiste dans l'établissement de digues sous-marines en enrochements, sur lesquelles reposent les murs de quais, par l'intermédiaire d'une fondation en blocs artificiels. Lorsqu'on a entouré le môle de ses murs, on finit par apporter des remblais ordinaires dans l'enceinte ainsi préparée.

Le procédé décrit a été suivi au premier môle, sans cependant conduire à de bons résultats, malgré l'emploi presque exclusif du calcaire, même pour les remblais de l'intérieur.

Voici les inconvénients éprouvés :

1° Manque de résistance suffisante du corps, formé par les enrochements et le mur de blocs, pour faire face à la poussée latérale exercée par le poids du remblai, avançant en entier et glissant sur le fond vaseux dans le sens de l'inclinaison maxima du terrain (côté sud et tête du môle).

2° Pénétration de plusieurs rangées de blocs artificiels dans les enrochements nécessitant l'emploi d'une quantité double de blocs.

3° Nécessité de remanier les murs de blocs altérés, tant dans le sens horizontal que vertical.

Digitized by Google

Pour obvier à ces inconvénients, plusieurs modifications ont été apportées au système de construction; elles consistent dans le dragage d'une cunette pour la digue sous-marine, dans l'établissement d'une couche générale en bons matériaux sur l'emplacement du môle, dans l'augmentation des enrochements, dans la construction d'une digue de défense pour les remblais, et enfin dans le changement de l'ordre d'exécution des divers travaux constituant l'ouvrage.

Ces modifications introduites aux ouvrages des bassins II et III ne s'appliquent pas à la digue et à la traverse. Ici le plan presque horizontal du fond, les grandes profondeurs d'eau, la symétrie du profil, l'emploi presque exclusif de blocs naturels (dans un double but de solidité et d'économie), et enfin l'exécution presque entière du corps de la digue avant la pose des blocs, ont contribué à la descente plutôt verticale de l'ouvrage, sans avoir produit de mouvements latéraux.

Divers moyens ont été essayés dans le but de diminuer la tendance des masses de remblais au glissement. Ces moyens sont : exécution des remblais par couches de faible hauteur et uniformément réparties, interruption temporaire et continuation lente du travail, augmentation des dimensions des digues de défense, établissement de digues parallèles et de digues transversales. Mais tous ces expédients ont été reconnus insuffisants, capables au plus de retarder, mais non de diminuer les mouvements horizontaux. Il faut que les mouvements produits par un dérangement continuel de l'équilibre s'effectuent et qu'on laisse aux enrochements et aux terrassements le temps nécessaire pour qu'ils subissent leur tassement et acquièrent enfin la solidité voulue. C'est en agissant dans cet ordre d'idées qu'on ne procède à la pose des blocs que trois ans après avoir commencé les enrochements, qui doivent leur servir de base.

Les murs des quais furent établis à l'aide des blocs artificiels, fabriqués sur terre, et ayant un cube de $11^m,1$ et de $9^m,9$. Ils sont posés en parpaing à joints contrariés sans mortier, sur une hauteur de $5^m,50$ au-dessous du niveau des basses mers.

Le retard, qu'a subi la marche des travaux à partir de 1872, tient surtout à la nature vaseuse du fond qui a occasionné des travaux de reconstruction très-longs et ne rentrant nullement dans le programme primitif.

Les murs du môle et du quai de rive étant construits d'après le profil du gouvernement, ont subi les plus grands dérangements, tellement qu'on a été forcé de les démolir, et de les reconstruire une deuxième fois (sur quelques longueurs même une troisième fois), presque sur toute leur étendue.

La reconstruction, c'est-à-dire, le remaniement des murs, exige une grande dépense de temps et de frais. Son importance varie suivant le degré des déformations, subies par les murs. Le travail consiste dans la démolition et dans le rétablissement du mur, en avançant ou en reculant les diverses parties suivant les exigences du nouvel alignement. Les opérations à exécuter sont les suivantes :

Digitized by Google

1° Enlèvement des blocs en surcharge;

2° Déblaiement des remblais à l'arrière des murs jusqu'au niveau de l'eau et sur une largeur d'environ 15 mètres;

3° Démolition du mur jusqu'à la rangée à remanier en enlevant bloc par bloc à l'aide du ponton et du scaphandre;

4° Dans le cas de remaniement complet, c'est-à-dire, jusqu'à la première rangée (6^{m} au-dessous de zéro), rétablissement de l'assise (à 5^{m},5) par la drague et égalisage au scaphandre;

5° Construction du mur de blocs de la manière ordinaire avec surcharge et contreforts.

Les murs des blocs nouvellement établis sont soumis aux observations les plus soigneuses relatives aux tassements verticaux et aux avancements horizontaux pendant plus d'un an. Lorsque tout mouvement a cessé, on procède à l'enlèvement des blocs de surcharge et de contreforts et on observe encore la conduite des murs pendant quelques mois, avant de commencer la maçonnerie en pierres de taille.

Les mouvements produits par les remblais ont pour conséquence non seulement un soulèvement des enrochements au pied des murs, mais aussi une altération complète des anciennes profondeurs dans les bassins jusqu'à de très-grandes distances.

Or, les profondeurs arrêtées pour les bassins du port sont : 6 mètres au pied et 8^{m},50 à la distance de 7 mètres de l'arête supérieure des blocs. Il s'agit alors de créer ce nouveau profil en draguant tous les points ayant des profondeurs au-dessous de la limite indiquée.

La masse à draguer est formée par un mélange de vase, de gravier, de moëllons et de gros blocs naturels (jusqu'à 10,000 kilogr.) qui ont glissé dans l'intérieur des bassins.

M. LE PRÉSIDENT dit que la note de M. Bömches fait connaître d'une manière très-claire et très-complète les beaux travaux qui sont exécutés sous sa direction pour le nouveau port de Trieste. C'est une œuvre importante dont les particularités méritaient d'être exposées devant la Société des Ingénieurs civils.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Pontzen, invité à assister à la séance, de lui poser une question au sujet des travaux du port de Trieste, qu'il a dirigés aux débuts.

Il a remarqué que M. Talabot, dans son projet, a mis une distance de 800 mètres entre les môles, et que dans le projet exécuté les môles d'une largeur de 80 mètres sont encore espacés de 300 mètres, suivant ainsi les principes adoptés dans la construction des ports établis en France dans ces derniers temps.

M. LE PRÉSIDENT demande si on n'a pas étudié à l'origine un projet avec des môles plus étroits et plus rapprochés; c'est cette disposition que l'on retrouve dans les ports des pays où la navigation est très-active. Ainsi, aux docks *Victoria*, la distance entre les môles est de 120 mètres et la largeur de ces môles de 42 mètres.

Digitized by Google

Avec des môles étroits, on aurait pu, comme aux docks *Victoria*, relier les murs parallèles entre eux; ne se serait-on pas ainsi opposé au glissement transversal? le tassement n'aurait-il pas été seulement vertical, comme celui qui a été constaté pour la digue? On aurait obtenu un développement plus considérable de quais, et par conséquent une diminution du prix du mètre courant, lequel s'élève à 10,000 fr. environ, dépense obtenue en divisant la dépense totale de 36 millions par la longueur de quais construits.

M. Pontzen, répond qu'il est heureux de saisir l'occasion qui lui est offerte de répondre aux questions qui lui sont adressées par M. le Président, car sans elles, il n'eût eu rien à ajouter à la note de M. Bömches.

En premier lieu, dans les dépenses entraînées par la création du nouveau port, il ne faut pas envisager seulement le développement des quais, mais il convient de tenir compte de la surface des terrains conquis sur la mer, surface qui permettra l'établissement de vastes hangars, de grands magasins réclamés par le commerce. Ces emplacements ne pouvaient être pris sur la terre ferme, à cause de la configuration du sol. Il a donc fallu constituer un terre-plein sur la mer. Cette considération suffit à elle seule à justifier une grande partie des dépenses.

Quant à l'écartement de 300 mètres entre les môles, il n'est que provisoire. On pourra dans la suite intercaler dans les bassins actuels des môles supplémentaires, et on arrivera ainsi en donnant une largeur de 40 mètres à chaque môle, à un intervalle de 130 mètres, conditions qui approchent de celles des docks *Victoria*. La largeur du premier môle, qui est de 93 mètres, a été rendue obligatoire par l'affaissement du sol; quant à celle de 80 mètres des autres môles, elle a été déterminée par l'établissement des docks transversaux devant se rallier avec les docks longitudinaux des quais. Ces constructions ont, en outre, l'avantage de protéger les navires en chargement contre l'influence du vent, le « *Bora*, » qui souffle dans la direction de E.-N.-E.

Les déplacements qu'ont subis les môles proviennent de la pente du sol marneux sur lequel ils sont établis, tandis que la digue du large repose sur un sol horizontal, ce qui explique qu'elle s'est simplement enfoncée sans mouvement latéral.

Enfin, une partie des dérangements éprouvés par les ouvrages construits doit être attribuée aux deux torrents, le *Martesin* et le *Klutsch*, qui, avant d'être déviés, débouchaient dans la rade à transformer, et y ont déposé des masses considérables de vase, et surtout dans la partie des môles 1 et 2. Le môle 1 surtout en a beaucoup souffert. Il y a eu jusqu'à des enfoncements de 8 à 10 mètres, affectant la forme curviligne.

M. Richard ne partage pas l'opinion qui vient d'être émise sur les dimensions des bassins. Il pense, au contraire, qu'il y a tout intérêt à conserver un grand intervalle entre les môles. Cette disposition a l'avantage de laisser un espace assez grand pour les mouvements des navires qui entrent dans le port. Et ce n'est pas au moment où l'on tend à donner des dimensions de plus en plus considérables aux bâtiments qu'il serait sage de restreindre

Digitized by Google

l'étendue des bassins. Une telle mesure ne pourrait qu'être préjudiciable à la navigation.

M. Pontzen répond que l'objection de M. Richard est celle des marins. Ceux-ci, par leurs exigences, sont en opposition avec les ingénieurs, qui cependant travaillent pour eux. Si les premiers ont raison de demander de grands dégagements dans les ports, les ingénieurs ont le devoir de limiter l'espace non pas seulement par raison d'économie, mais parce que l'on ne constitue pas de bons abris avec des bassins trop considérables. Il y a donc là deux tendances opposées, et l'on a cherché à y satisfaire dans la meilleure mesure par le projet définitivement adopté pour le port de Trieste.

D'ailleurs, le rôle actif des marins cesse à partir de leur entrée dans le port, puisqu'aujourd'hui presque tous les navires y sont amenés par des bateaux remorqueurs. L'intervalle laissé entre les têtes des môles et la digue du large est plus que suffisant pour le passage des navires. Et une fois l'entrée faite, plus de difficultés. Un changement fait dans l'exécution du projet a été d'augmenter la profondeur du mur de quai intérieur de la digue et des môles.

M. Perissé fait observer que la modification a une grande importance pour la digue, car c'est contre elle que le *Bora* tend à pousser les navires.

M. Dupuy pense, comme M. Richard, que les dimensions des côtés des bassins ne sauraient être réduites au-dessous de celles du projet de Trieste. Chaque côté, c'est-à-dire le quai ou la longueur de chaque môle, doit avoir au moins 300 mètres pour permettre d'y amarrer à la file deux grands bateaux, tels que les paquebots de la Cochinchine, qui ont jusqu'à 120 mètres de longueur. Il ne reste donc alors que 60 mètres pour faciliter les évolutions.

Quant à la largeur des môles, M. Dupuy approuve pleinement cette disposition, qui a l'avantage d'offrir de grandes surfaces au commerce. Dans tous les cas, il est préférable de conquérir des terrains sur la mer que de les acheter, car ils coûtent moins cher. C'est ce qui se passe à Marseille.

M. Dupuy demande si la faible largeur d'entrée de 95 mètres n'a pas été déterminée en vue d'établir un pont tournant entre le môle et la traverse de la digue du large, pont qui servirait au roulage pour aller prendre les marchandises déchargées sur cette digue. Cette disposition aurait l'inconvénient de retarder les mouvements à l'entrée des navires, qui ne peuvent avoir lieu que lorsque le pont est ouvert, manœuvre souvent très-longue à effectuer.

Un membre dit que cet inconvénient serait évité en plaçant sur un des môles du milieu le pont qui doit relier la digue au terre-plein. Dans ce cas, les navires entreraient et sortiraient des deux côtés. Souvent les navires ont la proue en terre, c'est-à-dire dirigés normalement et non parallèlement au quai, ils ne rendent pas ainsi nécessaire tant d'intervalle entre les môles.

M. le Président cite le port de New-York comme un exemple qui témoigne en faveur du rapprochement des môles. A New-York, dès qu'un

Digitized by Google

navire est arrivé dans les eaux tranquilles, il s'engage entre une série de môles en bois, très-rapprochés et très-nombreux, qui lui assurent un abri excellent contre les vents et les tempêtes.

M. Chabrier dit que les évolutions doivent se faire en dehors des bassins.

M. Dupuy défend la grande largeur donnée aux môles. Elle est pleinement justifiée par la nécessité de relier les môles aux quais par plusieurs voies ferrées, en laissant entre elles l'espace suffisant à la circulation du camionnage. Aussi la Chambre de commerce de Marseille a-t-elle avec raison réclamé un môle de 100 mètres de large.

M. le Président ne partage pas les opinions exprimées par M. Dupuy; il pense qu'on peut obtenir des terrains à meilleur marché en avançant le quai sur la mer, plutôt qu'en élargissant les môles.

Les môles larges sont nécessaires lorsque les déchargements sont faits à bras d'hommes et les transports par voitures; mais, avec un puissant outillage, leur largeur n'est plus utile. Il ne doute pas qu'aux docks *Victoria*, avec les nombreux appareils hydrauliques disposés sur un môle, on ne décharge plus de marchandises qu'à Marseille sur un môle de 100 mètres de large.

Pour diminuer le prix du fret, il importe de réduire le séjour du navire dans le port, et pour cela, il faut qu'il trouve à son arrivée une place toujours libre lui permettant d'accoster de flanc, et des appareils puissants pour le décharger rapidement.

En France, l'outillage des ports est absolument insuffisant; il semble qu'on ne se rende pas compte de son importance, qu'on ne connaisse pas les progrès faits à l'étranger; on dépense de grosses sommes pour faire des travaux très-importants, mais dont le degré d'utilisation n'est pas en rapport avec la dépense.

M. Arson rappelle que le port de Dunkerque n'est pas si arriéré sous le point de vue des installations mécaniques; il possède deux grandes grues à vapeur, qui permettent de prendre les marchandises jusqu'au milieu du navire accosté.

M. Richard dit que la multiplication des môles aura pour effet d'augmenter considérablement les dépenses sans procurer un avantage appréciable pour la sûreté des navires, que la digue suffit à protéger contre les vents.

M. de Serres croit, pour éclairer la discussion qui précède, devoir y introduire des éléments nouveaux qui ont un caractère spécial et en quelque sorte local pour la ville de Trieste.

En Autriche, on est habitué à de plus vastes espaces qu'en France. On y fait plus grand; exemple, les travaux du Danube, dont les quais, dans certaines villes, atteignent jusqu'à 120 mètres de largeur.

A Trieste, l'ancienne gare du chemin de fer était par son exiguité loin d'être en rapport avec le chiffre de la population et l'importance des affaires commerciales de la ville. Lorsqu'il s'est agi d'y substituer une nouvelle gare, on manquait de place pour l'établir avec les proportions désirables

Digitized by Google

pour l'édifice en lui-même et pour ses abords. Il a donc fallu empiéter sur la mer, de là la saillie donnée au terre-plein. D'un autre côté, il est dans les habitudes du pays, après le déchargement des navires, de laisser les marchandises séjourner assez longtemps là où elles ont été déposées. Il était donc indispensable pour les empêcher de s'avarier d'avoir de grandes surfaces de dépôts, de vastes magasins, et par suite de donner aux môles une grande largeur.

Quant aux bassins, ils doivent avoir une étendue considérable, par ce motif que le port de Trieste n'est pas seulement un port de déchargement, mais qu'il doit aussi servir de garage pour les navires avant et après le déchargement. La distance entre les môles doit, en outre, être suffisante pour les mouvements des bâtiments qui se déchargent bord à bord au moyen de chalands, c'est-à-dire d'un camionnage par eau qui n'exige pas l'accostement.

M. LE PRÉSIDENT remercie MM. Pontzen et de Serres de leurs explications, qui ont ajouté à l'intérêt qu'a excité la communication de la note de M. Bömches. Il adresse également des remerciements à M. Chabrier, qui a eu l'initiative de cette communication.

M. CHARLES BOURDON donne communication de son Mémoire sur divers modes d'accouplement de deux arbres parallèles tournant en sens contraires; applicables aux bateaux à deux hélices, non pas au moyen de courroies ou d'engrenages, mais au moyen d'organes permettant de faire l'accouplement des deux arbres, comme on le fait au moyen de bielles droites pour les arbres tournant dans le même sens. Par analogie avec ce qui se fait pour les courroies, on est amené à songer à employer les bielles croisées. C'est en effet la solution; mais on peut employer une bielle croisée de longueur constante ou de longueur variable.

La disposition avec bielle de longueur constante, que M. Ch. Bourdon a appris avoir été brevetée en 1853, par MM. Claparède, Roux et Delille, consiste à forcer le milieu d'une bielle croisée à décrire une courbe en ∞ pendant que les deux extrémités décrivent des cercles en sens contraires. (Ceci constitue un parallélogramme de Watt.) Pour cela, on fixe le milieu de la bielle croisée à un point d'un autre système pouvant décrire la même courbe en ∞. Cet autre système est ou un deuxième parallélogramme de Watt ou une combinaison de coulisse mue par un excentrique. En tout cas, on ne peut obtenir ainsi deux courbes mathématiquement superposables. M. Ch. Bourdon ne sait même pas si pratiquement les deux courbes peuvent être assez approchées pour permettre l'emploi de ces dispositions. Avec cet appareil, on ne peut obtenir la rotation des deux arbres en sens contraires avec des vitesses angulaires uniformes.

On peut, au contraire, réaliser des combinaisons d'accouplement par bielles de longueurs variables rigoureusement exactes et donnant la rotation des deux arbres avec vitesses angulaires uniformes.

Les théorèmes généraux de géométrie, qui sont le point de départ et que

Digitized by Google

M. Ch. Bourdon a établis en collaboration avec M. Ém. Vignes, ingénieur à la Compagnie d'Orléans à Châlons, sont les suivants :

1° Si dans un cercle on prend deux rayons partant d'un même point, et qu'on les fasse tourner en sens contraires avec des vitesses angulaires égales, leur angle varie, mais la bissectrice est de direction constante. Il en est de même dans deux cercles différents;

2° Si dans deux cercles de rayons différents et placés d'une façon quelconque, l'un par rapport à l'autre, on mène deux rayons dans des directions arbitraires, et si on suppose que ces rayons tournent en sens contraires avec des vitesses angulaires égales, la droite qui joint à chaque instant leurs deux extrémités est de longueur variable, mais le point qui la divise dans le rapport des rayons décrit une droite parallèle à la bissectrice de l'angle des deux rayons, qui, d'après ce qui précède, est de direction constante;

3° La projection de la droite qui joint les extrémités des rayons sur la direction de la bissectrice est constante, si les cercles sont de même rayon. M. Bourdon se place pour sa transmission dans le cas particulier où la bissectrice de direction constante est la ligne des centres, les rayons étant menés de part et d'autre de cette ligne et étant égaux.

Dans ce cas, le milieu de la droite qui joint les deux rayons décrit la ligne des centres, autrement dit, les deux rayons sont réunis par une bielle croisée de longueur variable, dont le milieu doit décrire une droite, ce qui est facile à réaliser au moyen d'une glissière. Mais la longueur de la bielle ne doit pas varier d'une façon quelconque, sans quoi le problème serait indéterminé. M. Ch. Bourdon fait varier cette longueur par la condition que la projection sur la bissectrice, c'est-à-dire sur la ligne des centres, soit constante. Pour cela, il faut simplement que la bielle, qui est en même temps un balancier puisqu'elle oscille autour de son milieu, décrive par ses deux extrémités, dans son mouvement d'oscillation, des perpendiculaires à la ligne des centres. Une bielle-balancier, formée de deux parallélogrammes Peaucellier, remplit donc le but et en joignant les deux rayons par cet organe, dont le milieu est forcé de décrire une ligne droite, les deux rayons tournent en sens contraires avec des vitesses angulaires égales, c'est-à-dire uniformes, si la manivelle motrice a une vitesse uniforme. On peut remarquer de plus que si, au lieu que ce soit une des manivelles qui donne le mouvement au coulisseau pour le transmettre à l'autre manivelle, le coulisseau recevait son mouvement d'un piston à vapeur, autrement dit si le coulisseau était la glissière d'une machine et que la bielle soit remplacée par un parallélogramme Peaucellier, on aurait une transmission par bielle et manivelle avec vitesse de rotation uniforme.

On arrive au résultat cherché pour la rotation des deux arbres par d'autres moyens que le balancier à parallélogramme. On peut encore prendre une ligne brisée, et au moyen d'une contre-manivelle et d'un cadre muni d'une tige venir donner au coulisseau à chaque instant sa position, et le mouvement est ainsi réglé toujours par la condition de projection constante.

Digitized by Google

On peut aussi prendre une bielle coupée en deux parties emmanchées dans un fourreau qui peut osciller et dont le centre est guidé par une glissière : l'écartement voulu est donné aux deux parties de la bielle par un parallélogramme d'Olivier Évans.

M. Charles Bourdon, pour les applications pratiques, a simplifié ces dispositions en partant d'un principe différent, mais qui ne permet d'avoir qu'un arbre tournant avec une vitesse angulaire uniforme. Ce principe est le suivant :

Si un point d'un balancier est astreint à décrire un cercle, un autre point, le milieu du balancier par exemple, étant obligé par une glissière de décrire une droite, l'autre extrémité décrit une courbe en cœur. Si on prend alors un cercle ayant son centre sur la ligne qui joint le centre du premier cercle et le centre du balancier, et se rapprochant le plus possible de la courbe en cœur, on pourra joindre, au moyen d'une petite bielle, l'extrémité du balancier à un point du cercle, par exemple au point de contact de l'une des tangentes menées de l'extrémité du balancier; de cette façon, pendant que l'extrémité du balancier décrira la courbe en cœur, l'autre point décrira le cercle. Dans cette disposition, bien que la bielle soit de longueur variable, le problème est déterminé, parce qu'il n'y a au problème que deux solutions : l'une étant adoptée, on ne peut passer à l'autre. Cette disposition n'est possible que lorsque la distance du centre est assez grande par rapport aux rayons des manivelles. Quant aux variations de vitesse que subit l'un des arbres, l'autre tournant avec une vitesse uniforme, elles sont les mêmes que dans une transmission par bielle et manivelle, et n'ont par conséquent pas plus d'inconvénients.

Les deux modèles présentés montrent le fonctionnement de ces appareils.

Tous les organes précédemment décrits ont l'avantage de ne pas avoir de points morts. Car, par suite de la combinaison des mouvements d'oscillation et de translation qui n'ont jamais leurs points morts en même temps, l'organe est toujours en prise, et si un des rayons fait un mouvement dans un sens, l'autre en fait immédiatement un en sens contraire.

De là la simplification des machines de bateaux à deux hélices. M. Ch. Bourdon place sur chaque arbre d'hélice un seul cylindre, et même celui de l'hélice de droite, par exemple, pourra être cylindre à haute pression, et celui de l'hélice de gauche cylindre à basse pression, c'est-à-dire que la machine est du système Compound. M. Ch. Bourdon fait en sorte que les manivelles de ces deux cylindres soient à 90°, l'une par rapport à l'autre, et il réunit les deux abouts de ces arbres par un des appareils précédents. L'organe n'ayant pas de point mort, si une manivelle fait un mouvement, l'autre en fera immédiatement un en sens contraire. Donc, avec un seul cylindre sur chaque arbre, M. Ch. Bourdon n'aura jamais de point mort. On aura donc une machine très-simple et commode. De plus, on peut profiter du mouvement en ligne droite du coulisseau du balancier pour faire mouvoir les pompes de la machine.

Digitized by Google

Sur la demande de plusieurs membres, M. Ch. Bourdon fait sur le tableau la démonstration de ses théorèmes.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Ch. Bourdon de son intéressante communication.

MM. Bleythe, Braban, Clausel, Couriot, Dubois, François Gasc de Neeff, Godefroy, Halot, Laurent, Mardelay, Salin et Soulié, ont été admis comme Membres sociétaires.

Séance du 16 Mars 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures trois-quarts.

Le procès-verbal de la séance du 2 mars est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Bouvart, Membre de la Société, vient d'être décoré de la Légion d'honneur.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de MM. Adolphe Flachat, Charles Bertrand, Hippolyte Bulot et Brunt.

M. JORDAN présente à la Société au nom de M. de Loriol, membre de la Société, les deux premiers fascicules d'un travail qu'il publie de concert avec M. Chansselle, l'un des ingénieurs les plus distingués du bassin de la Loire, et qui porte le titre modeste de *Notes d'un voyage dans le bassin houiller de la Ruhr*. Un premier chapitre est consacré à l'étude générale de ce bassin au point de vue géographique et industriel; on y trouve des données intéressantes sur la production et la consommation des houilles westphaliennes, sur les moyens de transport mis à leur disposition, soit par les chemins de fer, soit par la navigation; on y voit notamment que la production du bassin de la Ruhr a presque triplé (17 millions de tonnes au lieu de 6 1/4 millions) depuis 1863, époque où a été mis en vigueur le *pfennig-tarif* (2c·66 par tonne kilométrique) et a atteint celle de la France entière. — Le second chapitre donne la description géologique du bassin, avec cartes et coupes explicatives, et le troisième montre comment sont obtenues les concessions et comment s'organisent les sociétés houillères en Prusse; il se termine par des renseignements généraux sur l'organisation des siéges d'extraction parmi lesquels on en trouve comme le puits Président, à Bochum, qui sort 270,000 tonnes par an. — Le quatrième chapitre

Digitized by Google

est formé d'une suite de monographies où les auteurs étudient les principales houillères tant dans leur aménagement du fond que dans leurs installations au jour; on y trouve décrits successivement les exploitations des bords de la Ruhr, les mines Soelzer et Neu-Ack, la mine de Neu-Essen, celles de Carnap, de Graf-Beust, de Prosper, les charbonnages d'Oberhausen, de Gelsenkirchen, les mines de Dahlbusch, Hibernia, Consolidation, Shamrock, les charbonnages du Nord, etc. Ces descriptions, accompagnées de planches et de croquis dans le texte, apportent un grand nombre de détails inédits sous les yeux de nos mineurs français, qui sauront certainement beaucoup de gré à MM. de Loriol et Chansselle de les faire ainsi profiter des fruits de leur voyage.

M. JORDAN joint à ces deux fascicules un exemplaire d'un travail sur la législation des mines en Prusse par MM. Chansselle et Cuny.

M. JORDAN croit utile de communiquer une note écrite par M. R. Raymond, membre honoraire de la Société et ancien président de l'Institut des Ingénieurs des mines américains, pour l'assemblée générale de cet Institut à Philadelphie, en octobre 1876. Cette note, relative à l'*Accroissement de production des aciéries Bessemer aux États-Unis*, est ainsi conçue :

« La révolution apportée dans les relations commerciales du fer et de l'acier par l'introduction du procédé Bessemer est à peine plus surprenante que les progrès qui ont été faits dans la partie mécanique de ce procédé lui-même. Au reste, cette révolution est due, pour une bonne part, à ces progrès, puisque c'est le développement rapide de la puissance productive du matériel Bessemer qui a maintenu le procédé en avance sur tous ses rivaux, et a continuellement agrandi son champ d'action. Sous ce rapport il faut reconnaître que les ingénieurs américains tiennent la tête parmi leurs confrères du monde entier. La concurrence entre le procédé Bessemer et le procédé sur sole, qui a pu se faire en Europe sur un certain pied d'égalité commerciale, a jusqu'à présent été beaucoup plus difficile aux États-Unis; elle y est même hors de question pour certains produits, comme les rails, par suite de la plus grande perfection qui y a été obtenue dans la pratique du procédé Bessemer, et de la réduction considérable des *items* de main-d'œuvre et d'intérêt du capital amenée par l'augmentation de la production d'une installation donnée. Il doit y avoir une limite à cette augmentation, et elle semble avoir été presque atteinte, comme on en sera convaincu, j'espère, en écoutant les dernier chiffres obtenus pour la production du Bessemer. Quelques-uns de ces chiffres présentent une coïncidence curieuse et rappellent une anecdote plaisante qui peut présenter de l'intérêt même dans notre sérieuse réunion.

« Il y a six ans, M. A.-L. Holley, ancien président de l'Institut, alors directeur de l'aciérie Rensselaer, à Troies, pariait un habillement complet avec M. John A. Griswold, propriétaire de l'usine, que l'atelier Bessemer, comprenant deux convertisseurs, produisait en un mois 1,500 tonnes de lingots. La production du mois suivant fut 1,686 tonnes, chiffre jusqu'alors sans

Digitized by Google

précédent, et M. Holley gagna le pari. Je me rappelle avoir émis, en 1873, devant l'Institut du fer et de l'acier à Liége, l'assertion que nous pourrions montrer en Amérique des aciéries Bessemer fabriquant quotidiennement, avec deux convertisseurs de cinq tonnes, 100 tonnes de lingots. Cette assertion fut reçue avec incrédulité et considérée comme une vanterie Yankee, basée probablement sur la production exceptionnelle d'une seule journée. Aucune aciérie anglaise ou européenne ne prétendait certainement atteindre un semblable chiffre de production.

« Mais, pendant la semaine se terminant le 14 octobre 1876, l'usine de North-Chicago, sous la direction de M. Forsyth, a produit avec une paire de convertisseurs de cinq tonnes 1,686 tonnes en 316 opérations. En d'autres termes, l'usine a fabriqué du lundi matin au samedi soir exactement le nombre de tonnes qui fit gagner à M. Holley son pari, pour en avoir fait autant avec le même matériel pendant tout un mois. Un pareil résultat est réellement étonnant, et cependant il est encore éclipsé par le roulement de la même usine, quelques jours plus tôt. Pendant la semaine finissant au 30 septembre, il y a eu un jour où M. Forsyth a fait en 23 heures 40 minute le nombre énorme de 73 opérations avec deux convertisseurs, obtenant ainsi 391 tonnes et demie de lingots. Comme pendant cette marche les convertisseurs ont été presque continuellement en fonctionnement, il semble à peine possible qu'elle puisse être jamais surpassée. Il y a en effet une limite : on ne peut traiter deux charges à la fois dans le même convertisseur ! »

M. Jordan ajoutera seulement qu'en entendant M. Raymond à Liége en 1873, il avait, pour son compte, pris très au sérieux son assertion au sujet des aciéries américaines, ainsi qu'il l'a montré dans une note communiquée la même année à la Société. On fait aux États-Unis couramment 40 à 50 opérations par 24 heures, avec une paire de convertisseurs; en France on n'en fait guère que 12 ou 15. Les fabricants américains qui travaillent en deuxième fusion ont obtenu la réduction du prix de revient par l'accroissement de la production d'un matériel donné, en diminuant ainsi les chapitres de la main-d'œuvre, des frais généraux et de l'intérêt du capital; les fabricants français ont cherché la réduction du prix de revient dans la suppression des frais de la deuxième fusion, par l'emploi de la fonte sortant directement des hauts fourneaux. Il est peut-être possible de réunir les deux économies en disposant à l'américaine un groupe de deux convertisseurs de 5 tonnes, par exemple, et en le faisant desservir par 4 ou 5 hauts fourneaux de 50 à 60 tonnes par jour. Cet essai va probablement être fait encore aux États-Unis dans la dernière aciérie construite par M. Holley, celle de Vulcain, près Saint-Louis; comme aussi en Angleterre dans l'aciérie d'Eston, construite par M. W. Richards.

M. Regnard demande à ajouter à cette Note quelques renseignements qu'il a recueillis sur le chiffre de la production totale de l'acier, lors de son voyage à l'Exposition de Philadelphie.

Ce n'est qu'en 1869 que l'on a commencé à fabriquer de l'acier Bessemer aux États-Unis. La production annuelle qui était déjà de 8,000 tonnes en

Digitized by Google

1868, s'est élevée à 290,000 tonnes en 1875. Onze usines se partagent cette fabrication. On peut en déduire la moyenne exacte de la production par le convertisseur Bessemer.

M. Hamers demande quel est le prix actuel de l'acier Bessemer aux États-Unis.

M. Regnard répond qu'il est de 56 dollars par tonne, soit environ 280 francs. C'est encore plus cher qu'en Europe, où il s'est passé récemment des marchés de rails d'acier à 170 francs, c'est-à-dire au-dessous du prix de revient de fabrication.

M. Hamers fait remarquer que ce prix très-bas de l'acier, inférieur même à celui du fer, justifie les prévisions qu'il avait avancées il y a treize ou quatorze ans, en disant que l'acier vaudrait un jour 200 francs la tonne.

Il est donné lecture de l'analyse faite par M. Molinos d'un ouvrage sur le chemin de fer de Galata à Péra, construit par M. Gavand. Ce chemin a pour but de relier ces deux quartiers populeux de la ville de Constantinople. La rue la plus fréquentée et la plus directe qui les dessert, présente une déclivité dont la moyenne est de 0.097 et le maximum de 0.17, elle est étroite et tortueuse, la circulation y est donc très-difficile, et atteint cependant une moyenne de 40,000 personnes par jour. La différence du niveau à franchir est de 61^{m}.55 sur une longueur horizontale de 606^{m}.60, ce qui correspond à une rampe moyenne de 101 millimètres par mètre.

Le problème à résoudre était donc tout à fait analogue à celui qui a provoqué l'exécution du chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse. Celui-ci, qui a été le premier plan incliné destiné au service des voyageurs, offrait même des conditions d'exécution plus difficiles; franchissant une différence de niveau de 80 mètres environ sur 480 mètres de longueur, il présentait une rampe moyenne de 0.16^{cm} par mètre.

En plan, les voies du chemin de fer de Péra sont absolument droites, c'est un avantage sensible sur le chemin de la Croix-Rousse, où la disposition des lieux a absolument imposé l'usage de poulies de renvoi. M. Gavand a donc pu employer des câbles plats et des bobines, tandis qu'au chemin de fer de la Croix-Rousse il fallait accepter le câble rond.

M. Gavand a adopté pour sa voie un profil en long parabolique. Il en donne deux raisons : la première, était d'entrer de suite en souterrain avec la plus grande épaisseur possible de terre, entre les voûtes et les maisons; la seconde était de permettre aux trains de partir sans vapeur et de s'arrêter par le seul fait de la fermeture du régulateur.

La première de ces raisons est certainement fondée. Au chemin de fer de la Croix-Rousse, l'élévation de la pente moyenne imposant l'adoption d'une pente unique, les points d'entrée et de sortie du souterrain étaient *obligés*, et nous avons rencontré de sérieuses difficultés dans la construction de la voûte sous des maisons en pisé de quatre étages, dont le rez-de-chaussée était au niveau de l'extrados de la voûte. Avec de grandes précautions, ces travaux ont cependant pu être menés à bien. La seconde raison

Digitized by Google

invoquée par M. Gavand, nous paraît avoir une moindre valeur, et en somme, l'adoption d'un profil parabolique a entraîné une conséquence regrettable, l'impossibilité de conserver la manœuvre automotrice des freins de secours fonctionnant par la rupture même du câble.

Ces freins sont ceux du chemin de fer de la Croix-Rousse, seulement, sur ce dernier chemin, la manœuvre en est assurée de deux manières. Ils sont d'abord à la disposition du conducteur qui peut à volonté les faire tomber sur la voie; en outre, ils sont suspendus à l'aide d'une came reposant sur un taquet maintenu en position par la tension du câble.

Si ce dernier casse, le frein tombe de lui-même, nous avons toujours pensé que, lorsqu'un accident est certainement très-rare, et qu'il peut entraîner des conséquences très-graves, il n'est pas prudent de confier la manœuvre à un homme qui très-probablement ne sera pas prêt ou perdra la tête. Ajoutons qu'avec ces pentes rapides, la vitesse prise, au bout de quelques secondes, est si considérable qu'il y a danger pour les appareils, quels qu'ils soient, si on met quelque retard à les manœuvrer. Au chemin de fer de la Croix-Rousse, les gares sont en plan, et pour éviter que le frein ne tombe par la diminution considérable de la tension du câble, des lisses en bois sont placées dans les quais, et des galets reliés au système des freins viennent rouler sur ces lisses et maintiennent les freins en place.

Peut-être serait-il préférable d'appliquer au chemin de fer de Péra cette disposition très-simple, en l'étendant jusqu'au point où le train arrive à une pente suffisante, pour que la traction du câble soutienne le frein sans qu'on puisse craindre qu'il ne tombe intempestivement.

Toutes les dispositions de la machinerie, de la voie et des travaux d'art du chemin de Galata à Péra paraissent très-bien conçues, et cet intéressant travail fait grand honneur à son auteur. Il a rencontré dans les usages du pays, dans la fantaisie très-imprévue des lois d'expropriation turques, ou plutôt dans l'absence de ces lois, dans le mauvais vouloir de l'administration et des particuliers, des difficultés qu'il n'a pu vaincre qu'à l'aide d'une rare persévérance et d'une grande volonté.

M. LE PRÉSIDENT remercie MM. Jordan et Molinos, anciens Présidents de notre Société, d'avoir bien voulu montrer l'exemple en rendant compte de travaux exécutés à l'étranger; c'est un service rendu à tous les Sociétaires, qui n'ont pas toujours le temps de lire toutes les publications dans lesquelles ils trouveraient souvent des renseignements fort utiles. Il ne saurait trop encourager les membres de la Société à suivre cet exemple.

M. FOURET donne communication d'une Note sur la détermination et la représentation graphiques des tarifs d'assurances sur la vie, et des conditions d'amortissement des emprunts. (Voir les figures, pages 312 et 313.)

Dans un grand nombre de problèmes intéressant la pratique, on remplace aujourd'hui le calcul par des constructions graphiques. Cette substitution est souvent exigée par la nature de la question : c'est ce qui a lieu,

Digitized by Google

lorsque les rapports de dépendance entre les éléments du problème ne se traduisent par aucune formule analytique, comme, par exemple, pour le problème de la stabilité des voûtes. On parvient par ces méthodes, comme notre honoré Président nous l'a exposé dernièrement, à attaquer des problèmes qui, par d'autres moyens, opposeraient des difficultés presque insurmontables. Mais lors même que ces difficultés n'existent pas, il y a intérêt, dans bien des cas, à avoir l'image des relations de dépendance, qui lient les divers éléments de la question, de manière que, d'un seul coup d'œil, on puisse voir comment varient les résultats, quand on modifie les données. C'est en se plaçant à ce point de vue, que l'auteur a cherché une construction graphique simple, permettant de *déduire d'une loi de mortalité donnée, les taux des primes à payer aux divers âges, pour les assurances en cas de décès*. La même solution s'applique d'ailleurs de tout point au problème suivant : *étant données les conditions d'amortissement d'un emprunt, trouver, à une époque quelconque, et notamment au moment de l'émission, la valeur de chaque obligation*. Le tracé graphique, qui va être indiqué, permet d'étudier l'influence des conditions de la mortalité sur les tarifs d'assurances, ou des conditions d'amortissement sur la valeur des obligations. Il conduit, dans ce dernier cas, à la discussion et au choix des meilleures conditions à adopter, en vue de certaines convenances, pour amortir un emprunt.

Le tracé est une nouvelle application du *polygone funiculaire*, dont l'usage intervient dans un grand nombre de questions : *ponts suspendus, stabilité des voûtes, mouvements de terres*, et autres problèmes de statique graphique. Il suffit de rappeler en quelques mots ce qu'on entend par polygone funiculaire d'un système de forces parallèles, ce cas particulier étant le seul à appliquer dans ce qui va suivre. Soit F_1, F_2, F_3, F_4, un système de forces parallèles situées dans un même plan ; par un point A de ce plan, on mène une parallèle à la direction de ces forces, et on porte sur cette droite, à partir de A, des longueurs respectivement proportionnelles à ces forces, et dirigées dans le même sens qu'elles. On joint un point P pris arbitrairement au point A et aux extrémités f_1, f_2, f_3, f_4, des segments obtenus. Puis on mène une droite MM_1 parallèle à PA et rencontrant F_1 en M_1, par M_1 une parallèle à Pf_1 jusqu'à sa rencontre avec F_2 en M_2, et ainsi de suite. Enfin par M_4 obtenu de la sorte sur F_4, on mène M_4M' parallèle à Pf_4. Les droites MM_1 et $M'M_4$ prolongées se coupent en un point N, qui appartient à la résultante R du système de forces considéré. Soient l_1, l_2, l_3, l_4, x, les bras de levier, par rapport à un point I quelconque, des forces données et de leur résultante ; on a, comme on sait :

$$(1) \qquad x = \frac{F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3 + F_4 l_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4} = \frac{\Sigma F l}{\Sigma F}.$$

Inversement, toute grandeur définie par une relation de cette forme peut se construire au moyen d'un polygone funiculaire.

Digitized by Google

Que l'on prenne maintenant une *table de mortalité* indiquant que sur un nombre v_a de têtes vivantes à l'âge a, il en reste v_{a+1} à l'âge $a+1$, v_{a+2} à l'âge $a+2$, etc., v_{a+n} à l'âge $a+n$, $a+n$ étant l'âge limite indiqué par cette table, c'est à dire l'âge auquel ne survit aucune des têtes observées. Il est facile d'écrire la formule qui donne la *prime unique* à verser par une personne d'âge a, pour assurer 1 franc payable à son décès. Pour cela, on suppose que les v_a têtes de la table s'assurent pour 1 franc chacune, et on écrit que le total des primes encaissées est égal au total des sommes payées par l'assureur, ces sommes étant ramenées, par l'escompte, à leur valeur actuelle. En désignant par P_a la prime unique assurant 1 franc à l'âge a, et par i l'intérêt de 1 franc, on a alors :

$$(2)\quad v_a P_a = (v_a - v_{a+1})(1+i)^{-1} + (v_{a+1} - v_{a+2})(1+i)^{-2} + \dots$$
$$\dots + (v_{a+n-1} - v_{a+n})(1+i)^{-n} + v_{a+n}(1+i)^{-n-1},$$

d'où :

$$(3)\quad P_a = \frac{v_a - v_{a+1}}{v_a}(1+i)^{-1} + \frac{v_{a+1} - v_{a+2}}{v_a}(1+i)^{-2} + \dots$$
$$\dots + \frac{v_{a+n-1} - v_{a+n}}{v_a}(1+i)^{-n} + \frac{v_{a+n}}{v_a}(1+i)^{-n-1}.$$

En employant l'expression d'*espérance mathématique* introduite dans la science par Daniel Bernouilli, on peut dire que la prime unique d'une assurance de 1 franc à payer au décès d'une tête d'un âge déterminé est égale à la somme des espérances mathématiques de recevoir 1 franc au bout des diverses années d'existence possible de cette tête, considérées successivement chacune comme étant la dernière.

Au lieu de calculer P_a par la formule (3), on peut le déterminer graphiquement. Il suffit, pour cela, de remarquer qu'en posant :

$$(4)\quad (1+i)^{-1} = l_1, (1+i)^{-2} = l_2, \dots (1+i)^{-n} = l_n, (1+i)^{-(n+1)} = l_{n+1},$$

$$(5)\quad v_a - v_{a+1} = F_1, v_{a+1} - v_{a+2} = F_2, \dots v_{a+n-1} - v_{a+n} = F_n, v_{a+n} = F_{n+1},$$

on a identiquement :

$$v_a = F_1 + F_2 + \dots + F_n + F_{n+1},$$

et par suite :

$$P_a = \frac{F_1 l_1 + F_2 l_2 + \dots + F_{n+1} l_{n+1}}{F_1 + F_2 + \dots + F_{n+1}} = \frac{\Sigma F l}{\Sigma F}.$$

On conclut de là que P_a est le bras de levier, par rapport à un certain joint O, de la résultante d'un système de forces respectivement égales à $F_1, F_2, \dots F_{n+1}$, et situées à des distances $l_1, l_2, \dots l_{n+1}$ du point O. On est ainsi conduit à la construction suivante :

Digitized by Google

Sur une droite supposée horizontale, on porte, à partir d'une origine fixe O, une série de longueurs $l_1, l_2, \ldots l_{n+1}$, données par les formules (4) : par les points $I_1, I_2, \ldots I_{n+1}$, ainsi obtenus, on fait passer des verticales. D'autre part, sur une verticale, prise arbitrairement, on porte à partir d'un point fixe A une série de longueurs $AV_0 = V_a$, $AV_1 = V_{a+1}, \ldots AV_n = v_{a+n}$.

On a par suite : $V_0V_1 = F_1$, $V_1V_2 = F_2$, etc., et la série des segments ainsi formés représente la grandeur des forces verticales qui ont leurs points d'application respectifs en $I_1, I_2, \ldots I_{n+1}$. Pour déterminer P_a à l'aide d'un polygone funiculaire, on joint un point P quelconque du plan aux points V_0, $V_1, \ldots V_n$; puis on mène MM_1 parallèle à PV_0, jusqu'à la rencontre en M_1 de la verticale I_1, M_1M_2 parallèle à PV_1, jusqu'à la rencontre en M_2 de la verticale I_2, et ainsi de suite, enfin $M_{n+1}M'$ parallèle à PV_n. Les droites MM'_1 et $M'M_{n+1}$ prolongées se coupent en un point N_0, et la distance OJ_0 du point O à la verticale du point N_0, évaluée à l'unité choisie, donne la prime P_a : autrement dit, si OI_0 est la longueur prise pour unité, on a $P_a = \frac{OJ_0}{OI_0}$.

Si au lieu de OI_0, on prend OI_1 pour unité, on a : $OI_2 = (1+i)^{-1}$, $OI_3 = (1+i)^{-2}$, etc.; d'où il suit qu'on obtient la prime unique à l'âge $a+1$, P_{a+1}, en prolongeant M_1M_2 jusqu'à la rencontre de $M'M_{n+1}$ en N_1 : OJ_1 étant la distance de O à la verticale de N_1, on a : $P_{a+1} = \frac{OJ_1}{OI_1}$. En continuant le même raisonnement et la même construction, on obtiendrait sur la même épure les primes uniques correspondant aux divers âges.

Le plus souvent l'assurance se fait au moyen d'une prime fixe payée annuellement. En désignant par p_a la prime annuelle assurant 1 franc au décès d'une tête d'âge a, on trouve facilement que l'on a : $p_a = \frac{P_a i}{1+i-P_a}$; de sorte que p_a se déduit de P_a au moyen d'une quatrième proportionnelle.

M. Fouret indique l'application des théories précédentes à la question des emprunts. Le problème qu'il est amené à résoudre est le suivant : *on consacre annuellement ou semestriellement au service des intérêts, de l'amortissement et des lots d'un emprunt dont la valeur nominale est v_0 une somme constante ou variable, d'une année ou d'un semestre à l'autre, suivant une loi quelconque, et l'on demande la valeur actuelle de cet emprunt.*

Désignons par $v_1, v_2, \ldots v_n$, les sommes restant à rembourser, intérêts compris, après la première, la seconde, etc., la $n^{ième}$ période de temps, de telle sorte qu'il soit remboursé $v_0 - v_1$, $v_1 - v_2, \ldots v_{n-1} - v_n$, v_n, à l'expiration des périodes successives. En désignant par E la somme empruntée qui sera remboursée par 1 franc, et par i l'intérêt de 1 franc dans l'unité de temps, on a :

$$(6) \qquad v_0E = (v_0 - v_1)(1+i)^{-1} + (v_1 - v_2)(1+i)^{-2} + \ldots$$
$$\ldots + (v_{n-1} - v_n)(1+i)^{-n} + v_n(1+i)^{-n-1}.$$

En comparant cette équation avec l'équation (1) qui nous a donné plus

Digitized by Google

haut la prime unique d'une assurance de 1 franc, en cas de décès, on constate leur complète identité, à la condition d'assimiler le remboursement total à effectuer v_0, et les remboursements v_1, v_2, ... v_n, restant à effectuer au bout des périodes successives, à un nombre initial de têtes vivantes, et aux nombres des têtes qui survivent à la fin des diverses périodes. Par suite, la construction qui permet de déterminer P_a, donne aussi la valeur de E déduite de l'équation (3).

Cette méthode se prête à plusieurs applications : discussion et fixation des conditions des emprunts à émettre, arbitrage des obligations des emprunts existant. Il y aurait là matière à des développements dans lesquels l'auteur n'entre pas, s'étant proposé uniquement, dans cette communication, d'indiquer le parti que l'on peut tirer des procédés graphiques, dans un genre de questions auquel on n'a guère appliqué jusqu'ici que le calcul numérique.

M. LE PRÉSIDENT trouve dans la communication intéressante de M. Fouret l'occasion de signaler l'importance qu'offrent les méthodes graphiques en général, et, celle qui vient d'être exposée en particulier, pour la détermition des inconnues d'un problème et pour l'évaluation des quantités numériques.

On reproche aux méthodes graphiques de ne fournir que des résultats approximatifs, ces résultats étant comme les données représentées par des lignes dont la mesure ne peut donner que les premières figures d'un nombre. Cet inconvénient, résultant du manque de précision, contrebalance l'avantage de rapidité que l'on reconnaît aux méthodes graphiques, lorsqu'on les emploie au calcul des données totales du problème.

Mais dans un grand nombre de cas, la méthode graphique permet de faire ressortir ce que la formule algébrique peut avoir d'inexact, lorsqu'on la compare aux résultats de l'expérience.

On peut remarquer, en effet, que la valeur à calculer est $x = \frac{\Sigma F l}{\Sigma F}$: F étant les nombres résultants de l'expérience à des distances l; et que, si une loi mathématique remplace F par les quantités φ différant de F d'une erreur e, on aura :

$$F = \varphi + e,$$

ΣF étant le nombre total des faits constatés, sera sensiblement égal à $\Sigma\varphi$; et le résultat mathématique $x' = \frac{\Sigma\varphi l}{\Sigma\varphi} = \frac{\Sigma\varphi l}{\Sigma F}$,

on aura donc :

$$x = \frac{\Sigma F l}{\Sigma F} = \frac{\Sigma\varphi l + \Sigma e l}{\Sigma F} = x' + \frac{\Sigma e l}{\Sigma F}.$$

En se reportant aux tables de mortalité, on sait qu'elles sont en grand nombre et qu'il existe entre elles, des différences notables provenant des

Digitized by Google

temps et des lieux pour lesquels elles sont établies. On les a cependant représentées en admettant une loi de mortalité dont les résultats y et x' calculées d'avance, sont indiqués dans des tables.

Si donc on veut calculer les valeurs x pour un cas déterminé, on calculera toutes les valeurs e et on déterminera par la construction graphique les valeurs $\frac{\Sigma el}{\Sigma F} = x''$, qui seront les corrections à appliquer à la formule mathématique.

Cette construction mettra immédiatement en évidence les écarts existant entre la loi mathématique et la loi réelle de mortalité.

M. Brull demande à M. Fouret s'il a appliqué sa méthode à l'étude des réserves.

M. Fouret répond que l'usage de la méthode graphique est moins facile, lorsque le calcul roule sur de gros chiffres. Mais elle pourrait permettre de trouver les taux des réserves, lesquels peuvent s'appliquer à toutes les polices.

M. Regnard donne communication de sa Note sur les ateliers d'Altona (chemin de fer de Pensylvanie), et sur la fabrication des roues de wagon en fonte trempée.

Altona, station principale de la ligne de Philadelphie à Pittsburgh, est située au pied de la chaîne des Alleghanys; tous les trains s'y arrêtent pour prendre une machine de renfort; on y a installé des ateliers considérables pour le matériel roulant et le matériel de traction. (M. Regnard a eu occasion de visiter ces ateliers lors du voyage d'excursion offert par la Compagnie des chemins de fer de Pensylvanie, avec une libéralité inouïe et totalement inconnue en Europe, aux membres des Commissions étrangères et des Jurys de l'Exposition de Philadelphie. Le temps beaucoup trop court qu'a duré cette visite ne lui a pas permis de faire sur ces ateliers un travail complet, il se bornera donc à signaler quelques machines, et à décrire plus spécialement l'atelier de fonderie et les procédés de fabrication des roues en fonte trempée, presque exclusivement employées jusqu'à présent sur les chemins de fer américains.)

Dans le matériel des vastes ateliers d'Altona, M. Regnard a remarqué les particularités suivantes :

Le chariot roulant qui transporte les locomotives est muni d'un treuil servant à l'amenage des machines locomotives; ce treuil est actionné par une transmission prise à volonté au moyen d'un embrayage sur l'arbre de la machine servant à la translation du chariot. Dans l'intérieur des ateliers de réparation les locomotives sont soulevées et changées de voie au moyen d'une grue roulante.

L'alésage des cylindres usés se fait sans démontage au moyen d'une machine à aléser portative spéciale d'une installation simple et facile. Tous

Digitized by Google

les trous sont percés, dans l'atelier de montage aussi bien que dans l'atelier de réparations, par une petite machine portative commandée par une corde supportant une poulie dont la chape est chargée d'un poids suffisant, ce qui permet, sans faire varier la longueur de la corde et sans arrêter la transmission, de changer cette machine de place et d'orientation à volonté.

Les machines-outils sont très-belles, et tous les outils entretenus avec un soin remarquable. La fonderie fabrique toutes les pièces servant à la construction du matériel roulant et un atelier spécial y est installé pour la fabrication des roues coulées en coquille et faites en fonte au bois.

L'Amérique produit beaucoup de fonte au bois; sur 2,000,000 de tonnes environ produites en 1875 par les hauts fourneaux américains, 400,000 tonnes sont des fontes au bois; obtenues d'ailleurs avec des minerais très-purs, elles présentent des qualités remarquables. M. Regnard en possède un échantillon assez curieux : c'est un fragment détaché devant lui, à grands coups de masse, d'un corps de roue rebutée; il est littéralement forgé, et présente l'aspect d'une débouchure de poinçonneuse.

La fonte est employée à la fabrication, non-seulement des roues de wagons et de voitures à voyageurs, mais même à celle des roues de locomotives à bras creux.

La fonderie comporte plusieurs cubilots de section elliptique, dont l'enveloppe extérieure est en fonte, avec nervures horizontales à l'intérieur pour soutenir la chemise maçonnée de briques spéciales. Aux cubilots d'Altona on brûle du coke, et la consommation en est assez élevée; mais beaucoup de cubilots américains marchent à la houille crue, notamment parmi ceux qui fournissent la fonte aux convertisseurs Bessemer. Ces cubilots sont montés sur quatre colonnes, et leur fond repose sur quatre portes à charnières qu'on ouvre pour les mises hors et pour les réparations. Ces cubilots n'ont pour ainsi dire pas de creuset; les tuyères sont assez près du fond, ce qui économise beaucoup de combustible pour l'allumage. Mais la fonte fondue coule continuellement, ou à intervalles très-rapprochés, dans un appareil indépendant qu'on pourrait appeler avant-creuset, ou mieux, creuset extérieur. C'est un réservoir ou poche d'une capacité de 8 à 10 tonnes environ, de forme presque cylindrique et pouvant osciller autour de deux tourillons. La fonte s'accumule dans ce réservoir, protégée par une petite couche de charbon de bois contre l'oxydation et le refroidissement. Un cylindre hydraulique sert à manœuvrer cette poche exactement comme on abaisse une cornue Bessemer, de manière à en verser le contenu par un orifice circulaire percé dans la paroi, à une hauteur convenable pour remplir les poches de coulée.

Cette disposition paraît présenter plusieurs avantages. D'abord elle permet de varier la composition du bain de fonte à volonté jusqu'à ce qu'on soit arrivé à lui donner la composition voulue; ce qu'on vérifie avant chaque coulée au moyen d'un barreau d'épreuve trempé par une coquille sur une de ses faces. Ensuite, elle permet de faire l'opération de la coulée en un temps très-court, et économise par là de la main-d'œuvre.

Digitized by Google

Les poches destinées à la coulée des roues sont portées par un petit diable, d'où les enlève le crochet d'une grue hydraulique spéciale; un seul ouvrier, secondé par un gamin qui manœuvre les leviers de la commande hydraulique peut couler des pièces lourdes avec la plus grande facilité. Les moules de roues sont rangés en cercle autour de chacune de ces petites grues; ces moules sont composés de trois pièces, celle du milieu portant une coquille en fonte pour le trempage de la jante. Un détail intéressant à noter est la précaution prise pour éviter la trempe trop énergique du boudin, qui serait une cause de danger en service et même d'accident au retrait. La coquille est refouillée d'un sillon à l'endroit du boudin, et ce sillon est rempli de sable; des trous nombreux donnent, en outre, le dégagement nécessaire aux gaz qui se produisent lors de la coulée dans ce cordon de sable, et qui, sans cette précaution, pourraient donner naissance à des soufflures dangereures.

Les fontes préférées par les ingénieurs de l'atelier d'Altona pour la confection des roues, sont celles de : Limerock (Connecticut), de Richemont (État de New-York), et de l'Hecla (Ohio).

Les fontes au bois valent environ 30 dollars la tonne, et les fontes de moulage ordinaire à l'anthracite 20 dollars. Le prix de revient d'une roue en fonte serait de 12 à 15 dollars, soit de 60 à 75 francs.

Ces roues sont alésées sur une table, au centre de laquelle tourne un arbre inférieur portant l'alésoir et susceptible de prendre un mouvement lent dans le sens vertical. Dans un autre type de machine à aléser, c'est le plateau horizontal portant la roue qui tourne, tandis que l'alésoir ne peut prendre qu'un mouvement vertical de descente.

Les roues sont calées et décalées à froid à la presse hydraulique. Elles effectuent un parcours moyen de 60 à 80,000 kilomètres. M. Regnard a pu en voir qui étaient encore en bon état après un parcours de 200,000 kilomètres.

M. Gressier demande la parole pour poser une question à M. Regnard au sujet de la communication qu'il a faite à la Société sur la présence de certains gaz et de l'ammoniaque libre dans des lingots d'acier fondu. Comment M. Régnard a-t-il pu recueillir ces gaz, et pourquoi l'analyse qu'il en a fait faire ne mentionne-t-elle pas de traces d'ammoniaque?

M. Regnard remercie M. Gressier de lui fournir l'occasion de préciser ce point. Il explique qu'il eût fallu, pour recueillir intégralement les gaz, briser les lingots qui avaient 8 centimètres de côté, sur une cuve à mercure, ce qui eût nécessité une installation assez difficile. Il s'est contenté de plonger rapidement dans des cuves d'eau des lingots brisés, et il n'a pu recueillir par conséquent avec des éprouvettes qu'un très-faible volume de gaz, la plus grande partie s'étant échappée au moment même de la rupture.

Quant à l'ammoniaque, dont la présence était incontestablement accusée par son odeur, ce gaz se dissolvait complétement dans l'eau, et ne pouvait par suite être recueilli.

Digitized by Google

M. Orsat fait observer qu'on aurait pu trouver cet ammoniaque en analysant l'eau.

M. Regnard répond que la masse d'eau sur laquelle il opérait était de 30 à 40 kilogrammes, et que c'est par milligrammes, et même par fractions de milligramme peut-être, que se dégageaient l'ammoniaque et les gaz à recueillir quelques secondes après la rupture. C'étaient donc des dix-millionnièmes qu'il eût fallu rechercher, et il ne l'a pas entrepris.

M. Regnard ajoute qu'il a, depuis, songé à un moyen pratique et simple de recueillir les gaz intégralement, et qu'il fera part à la Société des faits qu'il pourrait observer, si les circonstances lui permettent de poursuivre ses recherches.

Séance du 6 Avril 1877.

Présidence de M. Arson, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 9 heures.

Le procès-verbal de la séance du 16 mars est adopté.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Lockert, demandant que la discussion sur la fabrication mécanique des fers à cheval soit remise à l'ordre du jour, annonçant qu'il sera en mesure de donner à la Société de nouveaux renseignements sur ce sujet. Il demande que M. Faure-Beaulieu, qui s'est mis si gracieusement à la dispostion des membres de la Société, soit invité à assister à la séance, de façon à vider cette question.

M. le Président dit que la lettre de M. Lockert sera communiquée à M. Faure-Beaulieu, afin qu'il puisse apporter tous les renseignements qui pourront être utiles dans la discussion qui sera reprise dans une séance prochaine. Il invite les membres qui posséderaient quelques documents sur le sujet à vouloir bien les communiquer dans cette séance.

M. Loiseau fait remarquer que l'ordre du jour distribué aux sociétaires à la suite du procès-verbal de la précédente séance n'est pas toujours suivi; il y a souvent des interversions dans l'ordre des communications, des communications annoncées qui ne sont pas faites, et enfin des communications non prévues qui surgissent inopinément au cours des séances.

La chose est regrettable, en ce sens que les sociétaires qui sont venus spécialement pour entendre une communication déterminée sont souvent déçus, et que d'autres, ne sachant pas exactement quelles communications ils seront appelés à entendre, se désintéressent des travaux de la Société et prennent l'habitude de ne pas assister aux séances.

Digitized by Google

M. LE PRÉSIDENT fait observer que la Société est, dans une certaine mesure, à la discrétion des membres inscrits, et qu'il arrive quelquefois que ces derniers sont empêchés de prendre la parole à la séance et au moment indiqué à l'ordre du jour. Il y a alors des interversions, des suppressions et des additions qui sont justifiées par la nécessité de ne pas interrompre les travaux de la séance.

M. BARRAULT appuie l'observation de M. le Président et rappelle que la plupart des membres de notre Société ont des devoirs professionnels à remplir, et qu'il arrive souvent des cas imprévus d'empêchement tout à fait indépendants de la volonté des membres inscrits pour faire des communications.

M. MALDANT dit qu'en exécution de l'article 54 du règlement, il a adressé à M. le Président une demande signée, qui n'a pas été mentionnée dans les diverses correspondances qui viennent d'être énumérées par M. le Président; il demande si cette lettre a été communiquée au bureau.

M. LE PRÉSIDENT répond que la lettre de M. Maldant a été communiquée au comité, qui lui donnera la suite qu'elle comporte.

M BARRAULT donne communication d'une étude de M. Lescasse, sur les constructions japonaises et sur les constructions en général, au point de vue des tremblements de terre.

M. Lescasse, qui se trouve actuellement au Japon où il réside habituellement, avait une compétence particulière pour traiter le sujet qui fait l'objet de cette communication, car depuis longues années il habite la Chine et le Japon où il exerce, à Yokohama, la profession d'architecte, il a construit dans ce pays des édifices d'une grande importance, tels que: le collége de la Mission russe, à Yedo; l'Hôpital maritime allemand, à Yokohama; le projet d'Université impériale. Il a été également ingénieur des phares du Gouvernement chinois.

M. BARRAULT fait ensuite, d'après les notes fournies par M. Lescasse, l'étude des constructions japonaises et des constructions en général au point de vue des tremblements de terre. Nous donnons un rapide résumé de cette communication, le travail de M. Lescasse devant être publié *in extenso* dans notre Bulletin.

Les maisons japonaises sont en bois, elles n'ont souvent qu'un rez-de-chaussée assez bas; le 1er étage, lorsqu'il existe, n'a que 2m,50 de hauteur, et il est rare de rencontrer des maisons ayant deux étages. Ces maisons ont peu ou pas de fondations; sur des dés en pierre reposent des sablières qui reçoivent le pied des poteaux en petit nombre, entre lesquels se placent les panneaux à carreaux de papier, qui ont fait dire que les maisons japonaises avaient des murs de papier.

Les murs de façade, aussi bien que les divisions intérieures, sont en effet en carreaux de papier à coulisse.

Digitized by Google

Absence complète de liens ou de décharges, soit au bas, soit au sommet des poteaux, et toiture très-lourde à charpente, composée de plusieurs entraits ou grosses pièces horizontales superposées, sur lesquels reposent des poteaux verticalement placés, sans contrefiches, et dont les hauteurs sont réglées par l'inclinaison du toit; des pannes assemblées à l'extrémité des entraits superposés et de ces poteaux; des arêtiers seulement, des chevrons, de la volige, des bardeaux, des enduits de terre, de chaux, puis des tuiles lourdes.

Ce genre de construction, qui est de tradition dans le pays, résiste assez bien aux tremblements de terre peu violents, par suite du balancement que son peu de rigidité lui permet de supporter.

M. Barrault, pour donner une idée exacte de la manière dont construisent les Japonais, fait passer sous les yeux de la Société une série de dix images coloriées que l'on vend au Japon, comme sont vendues en France les images d'Épinal, et qui représentent les ouvriers des différents corps d'état en fonction avec leurs outils et dans leur action professionnelle; ce sont des charpentiers, des couvreurs, plâtriers, scieurs de bois, colleurs de papiers, poseurs d'enduits de terre, peintres, etc.

M. Barrault explique, à l'aide de ces images, les moyens de construction employés par les Japonais; puis il expose les différentes tentatives qui ont été faites pour établir des bâtiments importants, tels, par exemple, que les phares.

M. Barrault rappelle à ce sujet l'intéressante communication qui a été faite par M. Brunton à l'Association des Ingénieurs civils anglais. Il résulte en effet de cette communication que les Anglais chargés d'exécuter onze phares essayèrent tout d'abord de parer à l'inconvénient des tremblements de terre, en plaçant sous la plate-forme de chaque tour des sphères qui devaient empêcher le choc de se propager aux parties supérieures, mais on dut renoncer à ce système et se borner à faire des maçonneries très-lourdes, et l'on construisit huit tours en briques, onze en bois et quatre en fer.

Il est évident que la nécessité de supprimer les liens et les décharges dans les constructions légères en bois des Japonais prouve que le principe de glissement sur ses fondements, qui préside à ces constructions, ne serait pas suffisant pour résister aux tremblement de terre, mais qu'il faut y joindre une certaine élasticité favorable à la résistance aux secousses horizontales.

M. Barrault fait remarquer que ce n'est pas par principe, mais par nécessité que les Japonais font leurs toitures très-lourdes; c'est qu'en effet les tuiles faites à la main sont souvent poreuses et nécessitent une épaisseur de 18 à 20 millimètres pour n'être pas traversées par la pluie, en outre, elles n'ont pas de crochet et n'ont que 255 millimètres de hauteur, ce qui oblige à leur donner un recouvrement considérable, même sous une inclinaison minimum de 30 degrés, pour obvier aux inconvénients causés par la capillarité.

Digitized by Google

Pour que ces tuiles ne glissent pas il est nécessaire de les poser sur un lit de terre fraîche, dans laquelle on empreint la tuile.

D'après M. Lescasse il serait avantageux d'établir avec les moyens actuels des toitures plus légères si l'on conservait les autres dispositions des maisons japonaises.

Les temples et les palais japonais sont établis d'après les mêmes principes et les mêmes systèmes; toutefois, étant plus grands, ils sont bâtis avec plus de soins et plus solidement.

M. Barrault fait remarquer que les tremblements de terre se font sentir par des oscillations, soit horizontales, soit verticales, ou bien des ondulations, des tournoiements qui sont des combinaisons de ces oscillations verticales et horizontales; mais, de toutes façons, on peut, d'après M. Lescasse, considérer les fondations d'une maison comme reposant sur une surface plane, sinon toujours horizontale, vibrant ou oscillant tout d'un pièce.

A l'appui de cette manière de voir, on peut citer le renseignement suivant dû à l'obligeance de M. H. Pèlegrin, ingénieur des usines à gaz de Yokohama et de Yedo.

Depuis plus de trois années que le gaz est installé, sur une longueur de plus de 35 kilomètres de tuyaux, on n'a pas encore remarqué de fuite dans les conduits souterrains en fonte même les plus faibles, et cependant il y a eu des tremblements de terre assez fréquents dans cet espace de temps, il est vrai qu'ils n'ont pas été des plus violents.

M. Lescasse a employé avec avantage un mode de construction très-économique, consistant à établir des pans de bois à vides très-grands et hourdés de maçonnerie, de briques ou de moellons, et à consolider par des liens, des tirants, etc., les assemblages les plus importants.

Pour mettre les pans de bois et la maçonnerie à l'abri de l'humidité on cloue sur la face extérieure des murs des lattes de 8 à 10 centimètres de largeur sur 2 centimètres d'épaisseur, et sur ces lattes on cloue des tuiles plates ou carreaux en terre cuite vernissée, enfin l'on recouvre le tout de plusieurs couches d'enduits, ce qui ménage une couche d'air entre le mur et la tuile et donne de très-bons résultats. Avec de bonnes fondations et une toiture légère on obtient la construction bon marché qui paraît la meilleure et la plus pratique dans toutes les colonies, qu'il y ait ou non des tremblements de terre à redouter.

C'est depuis 1867, à l'arsenal de Yokohama, que l'on a commencé à construire en maçonnerie au Japon, où l'on ne se servait pas de briques pour bâtir et où la pierre n'était employée que pour les soubassements ou bien pour revêtement extérieur.

Aujourd'hui on peut constater qu'il existe au Japon des cheminées d'usines en briques, avec ou sans armatures de fer intérieures, qui ont parfaitement résisté aux tremblements de terre de ces dernières années, ce sont de bons exemples de constructions établies contrairement au principe de glissement des Japonais et conformes aux idées soutenues par M. Lescasse, à savoir: des constructions solidement fixées au sol et plus légères au som-

Digitized by Google

met qu'à la base, ayant une élasticité très-prononcée en raison de leur hauteur et d'une homogénéité assez parfaite.

M. Barrault entre alors dans le détail du système que M. Lescasse propose pour donner aux constructions en maçonnerie une très-grande sécurité contre les tremblements de terre.

Les bois deviennent de plus en plus rares au Japon et les briques de moins en moins chères, grâce à l'extension de leur fabrication, ce qui diminue tous les jours le prix des constructions en briques, tandis que celles en bois augmentent.

Dans un pays où les tremblements de terre sont à craindre, il faut *bien* construire et avec de *bons* matériaux. Voici le système proposé par M. Lescasse, comme satisfaisant à toutes les conditions du problème :

Lier la maçonnerie en tas ou paquets reliés entre eux, de telle sorte que les matériaux ne puissent se séparer, ni les murs se déchirer.

Il convient d'employer le fer ou le bois comme cadre des briques ou matériaux placés à sec et sans mortier.

Les murs devront toujours être fortement ancrés aux cadres et aux grosses pièces de charpente, aussi bien que les différents cadres solidement reliés entre eux, s'il y a plusieurs murs de refend à chaque étage.

On peut compléter la rigidité des côtés des cadres par des tirants en fer qui travaillent à la traction, c'est-à-dire dans les meilleures conditions possibles.

M. Barrault termine cette communication en donnant des détails sur une application spéciale dont il présente les dessins à l'Assemblée.

M. Roy dit qu'il a habité longtemps le Pérou, où les tremblements de terre sont fréquents; il a eu occasion d'étudier les constructions élevées dans ce pays, et il a reconnu que le principe sur lequel elles reposent est celui de l'élasticité de l'ensemble.

Il existe encore des constructions faites du temps des Incas, et qui ont par conséquent résisté à tous les tremblements de terre qui se sont succédé depuis cette époque. Toutes ces constructions sont faites en briques crues, c'est-à-dire en terre séchée au soleil.

Les Espagnols, peu de temps après la conquête, ont construit de grands édifices, des églises, qui ont résisté jusqu'à nos jours.

M. Roy cite l'exemple de la cathédrale de Lima, dont les clochers ont 40 mètres de hauteur, et il indique le mode de construction qui a été employé pour leur établissement.

La carcasse se compose de montants verticaux en bois sans liens ni écharpes; les assemblages des pièces horizontales avec les montants sont faits à simple tenon rond et ils sont consolidés par des lanières en cuir vert. Entre les montants, on a fait un clayonnage en roseaux, qui a été noyé dans un mur de terre de 10 centimètres d'épaisseur environ recouvert d'un enduit.

M. Roy cite un autre exemple de l'importance de l'élasticité des constructions soumises aux tremblements de terre.

Digitized by Google

Il avait fait construire une piscine de grande dimension, qui portait en son milieu sur un ancien mur, qui n'avait été arrasé qu'au niveau des fondations du nouvel ouvrage. A chaque tremblement de terre, cette piscine s'est rompue à l'aplomb du mur, tandis qu'une cuve de gazomètre qui était à peu de distance a parfaitement résisté.

M. Roy insiste sur l'importance de l'élasticité et il préconise pour les constructions à élever dans les pays sujets aux tremblements de terre, l'emploi de la terre et du bois.

M. Barrault se félicite des observations de M. Roy qui viennent à l'appui des conclusions du Mémoire de M. Lescasse, puisqu'elles font ressortir d'une manière particulière l'importance de l'élasticité, et que dans le système de construction qu'il a imaginé, M. Lescasse a cherché à conserver cette qualité tout en obtenant une grande solidité par l'emploi de briques comprises dans des cadres en fer ou en bois reliés entre eux.

M. le Président désirerait qu'on précisât la valeur attachée au mot élasticité; suivant lui, il n'y a pas d'élasticité dans les murs formés de briques plus ou moins reliées par un mortier de terre.

M. Roy dit que des constructions en terre sont plus compressibles que celles qui seraient faites en granit, par exemple, et que les premières peuvent osciller sans se rompre plus facilement que les dernières à cause du grand nombre de joints qu'elles contiennent : et qu'à son avis, la meilleure assiette de fondation dans un pays sujet aux forts tremblements de terre, même au-dessus de la roche, serait une forte couche de bon sable, parce qu'à une incompressibilité presque absolue, il joint une grande facilité de déplacement sous les plus fortes pressions, sans exercer une pression notable contre les parois verticales qui le contiennent.

M. le Président ne voit dans ce fait qu'une facilité de déformation et non pas de l'élasticité proprement dite.

M. Armengaud jeune fils cite les grandes cheminées d'usine comme exemple de l'élasticité des matériaux de construction; en effet, sous l'action du vent, les hautes cheminées exécutent des oscillations dont l'amplitude est souvent considérable.

M. Maldant dit qu'au point de vue de l'*élasticité* des constructions en maçonnerie, il partage l'opinion de M. Armengaud. En effet, cette élasticité ne peut faire de doute; elle est démontrée par de nombreuses expériences et elle est même souvent considérable. Il suffit, pour n'en pas douter un instant, d'examiner pendant les grands vents les flèches et toutes les hautes parties isolées des constructions.

M. Maldant dit que se trouvant, pendant l'orage ou de grands vents, sur le haut des *phares* du cap Ferret et de la tour de Cordouan, il a éprouvé plusieurs fois des *balancements* considérables dont l'amplitude, en dehors de la verticale, atteignait certainement au moins 40 à 50 centimètres. C'est là un fait indiscutable, que tout le monde a pu constater également.

M. Richard n'est pas de l'avis de M. Armengaud; il croit que dans le fait cité par ce dernier il y a simplement oscillation des briques l'une

Digitized by Google

sur l'autre, mais non pas compression et extension alternatives des matériaux.

M. LE PRÉSIDENT appelle l'attention de la Société sur l'intérêt qu'il y aurait à connaître exactement le degré d'élasticité des matériaux de construction. Il cite l'exemple de maçonnerie n'ayant pu fournir une extension de un cent-millième, et croit pouvoir en conclure que l'élasticité de la maçonnerie à l'extension est extrêmement faible.

M. DE BRUIGNAC fait remarquer que non-seulement les cheminées d'usines et les phares, dont on vient de parler, mais toutes les constructions, et le sol aussi, donnent des preuves d'élasticité; c'est ainsi que les maisons ressentent, même de très-loin, l'ébranlement d'une voiture. Or, il y a élasticité, puisqu'il y a trépidation sans déformation permanente. On ne saurait excepter les joints de l'élasticité des constructions, car leur matière ne diffère pas essentiellement de la pierre, dont l'élasticité n'est pas contestée. Il est vrai que le mortier résiste à peine à la traction par suite de son peu de cohésion, mais il prouve son élasticité complète en transmettant les vibrations sans déformation permanente, c'est-à-dire en reprenant sa forme après compression. Ainsi, tous les matériaux sont élastiques, ce n'est pas une observation nouvelle, mais ils le sont à des degrés très-divers. Ce qu'il y a à faire, au point de vue des tremblements de terre, c'est de choisir des matériaux à la fois élastiques et tenaces dans la mesure convenable.

M. THOMASSET croit que les briques ne sont pas élastiques, et que les oscillations des cheminées sont simplement dues à l'élasticité du sol sur lequel elles reposent.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que l'impression qu'on éprouve quand on se trouve au sommet d'une cheminée qui oscille n'est pas du tout celle qu'on éprouverait si on était au bout d'une verge rigide oscillant sur sa base.

M. REGNARD dit qu'il a constaté des oscillations d'une grande amplitude au sommet d'une cheminée dont les fondations reposent sur le rocher; il n'y a donc pas à faire intervenir dans ce cas l'élasticité propre du sol à l'exclusion de celle des matières dont se compose l'ouvrage.

M. BADOIS est d'avis que tous les matériaux sont élastiques, mais il rappelle que pour certains d'entre eux l'élasticité de compression n'est pas la même que l'élasticité d'extension; c'est le cas de la fonte en particulier. Il croit donc que dans les oscillations des cheminées d'usines il y a compression élastique des matériaux d'un côté et bâillement des joints du côté opposé.

M. BRULL, ramenant la discussion au point de vue des constructions dans les pays sujets aux tremblements de terre, dit qu'il faut non-seulement que les édifices ne soient pas détruits par les tremblements de terre, mais il faut encore qu'ils puissent durer, et par conséquent il ne pense pas qu'il soit logique de les disposer de manière qu'ils puissent glisser sur leur base ou bien de les construire avec des matières pouvant glisser les unes sur les autres.

Digitized by Google

Il ne croit pas, d'ailleurs, que des déplacements de ce genre nécessairement très-limités puissent absorber la puissance vive produite par le choc d'un tremblement de terre. Il faut donc que les édifices résistent par leur élasticité propre : or, le bois étant plus élastique que la maçonnerie, les Japonnais et les Incas, qui l'employaient presque exclusivement dans leurs constructions, lui paraissent avoir été judicieux.

M. Brull conseillerait de construire en bois partout où cela serait possible, et, à défaut de cette matière, d'employer le métal avant de faire usage de maçonneries, qui sont certainement élastiques, mais dans une bien moindre mesure.

M. Regnard rappelle que M. de Dion a fait des expériences sur l'élasticité des matériaux à l'occasion de la reconstruction des piliers de la cathédrale de Bayeux, et qu'on trouvera des renseignements utiles dans l'ouvrage qu'il a publié à ce sujet.

M. Regnard insiste sur la propriété qu'ont tous les corps d'être élastiques, et il cite des exemples de morceaux de marbres, de laves, de terres cuites, etc..... qui se déforment sensiblement sans se rompre; il cite particulièrement une roche schisteuse, micacée d'Amérique, qui est plus flexible que des bois de même dimension.

M. le Président remercie M. Barrault de son intéressante communication sur le travail de M. Lescasse, qui sera inséré au Bulletin.

MM. Couturaud, Delage, Jauge, Ledeuil, Legrand, Lequeux, Leullier, Maillard, Manès, Marès, Rudler et Schmidt ont été reçus membres sociétaires, et M. Muller membre associé.

Séance du 20 Avril 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ARSON, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à neuf heures.

Le procès-verbal de la séance du 4 avril est adopté.

M. le Président annonce à la Société que MM. Arbel et Dietz-Monnin viennent d'être nommés Chevaliers de la Légion d'honneur.

Il est ensuite donné lecture d'une Note de MM. Champion et Pellet sur l'action du noir animal sur les jus sucrés, dont voici le résumé.

Les auteurs de la note, après un court historique de l'application du noir animal à la décoloration des jus sucrés, commencent par discuter les résultats fournis par Walkhoff sur l'absorption des sels minéraux par le noir, et

Digitized by Google

sur la proportion des sels éliminables par l'action du noir. Ils présentent à cet égard quelques objections fondées sur la composition des jus, d'où il ressort notamment : 1° que, dans les jus défégués et carbonatés, on ne peut rencontrer à la fois la soude et la potasse, que l'absorption des sulfates peut être négligée, que le coefficient d'absorption du noir pour les sels est modifié par la présence de la chaux, que l'azotate de potasse et le chlorure de potassium existant seuls en proportion assez considérable dans le jus de betteraves ne sont pas absorbés par le noir; enfin, que la proportion de noir et la durée du contact avec les liquides indiqués par Walkhoff sont notablement plus grandes que celles employées couramment dans la fabrication du sucre en France.

MM. Champion et Pellet, s'appuyant sur les essais de M. Rache, ceux de M. Stammer, établissent que l'action de 4,950 kilogr. de noir sur le jus fourni par 23,750 kilogr. permet d'éliminer seulement 1ᵏ,05 de matières organiques et salines, soit pour 100 kilogr. de betteraves 0ᵏ,046. Coordonnant alors les chiffres précédents avec ceux donnés par Walkhoff sur les frais de main-d'œuvre et de revivification, ils arrivent à cette conséquence que pour une fabrication durant 120 jours et correspondant à 6,000,000 kilogrammes de betteraves, on éliminerait 2,760 kilogr. qui auraient immobilisé 1,140 kilogr. de sucre, soit 2,484 fr. de gain; mais comme la dépense occasionnée par l'emploi du noir est de 14,592 fr., il en résulte une perte de 12,108 fr.

La note renferme ensuite une succession de plusieurs tableaux résumant les résultats obtenus dans le traitement des jus de betteraves par le noir animal, et déterminés par des essais faits, tant en laboratoire qu'en fabrique, en particulier par M. Barbet, à la sucrerie d'Abbeville, et par des analyses de masses cuites françaises, russes et allemandes. MM. Champion et Pellet en tirent cette conclusion que l'action absorbante du noir pour les matières azotées et organiques non azotées peut être considérée comme nulle, que le quotient de pureté du sucre, contenu dans 100 kilogr. de matière sèche, ne change pas par l'élimination de la chaux; enfin, qu'on peut admettre que le noir est sans influence sur les matières organiques contenues dans les jus sucrés.

Dans la seconde partie de leur étude, MM. Champion et Pellet traitent spécialement de la revivification du noir. Ils exposent les inconvénients du procédé de la calcination généralement employé, savoir : la diminution des propriétés colorantes, l'odeur manifestée dans les jus par les produits pyrogénés, l'augmentation de friabilité et les pertes sous forme de « folle farine. » Il en résulte que le noir perd progressivement ses propriétés décolorantes et absorbantes par la chaux, et que son rôle se réduit en dernier lieu à celui d'un agent mécanique de filtration.

Après avoir rappelé les divers procédés proposés avant ceux pour revivifier le noir, sans l'intervention du four, procédés fondés sur l'emploi de lessives caustiques, de l'ammoniaque, de la vapeur et d'autres agents, et expliqué les motifs pour lesquels ils ont été abandonnés, MM. Champion et

Digitized by Google

Pellet recommandent leur nouveau mode de revivification par la voie humide, mais sans en donner la description. Ils se bornent à énoncer que lorsque le noir a absorbé de la chaux, on active l'élimination de cet alcali par des lavages à l'eau acidulée d'acide chlorhydrique, ainsi que cela se pratique ordinairement.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'en l'absence des auteurs de ce Mémoire, il est difficile d'ouvrir une discussion sur leur communication. On pourrait toutefois leur transmettre les observations qu'auraient à présenter à ce sujet les Membres assistant à la séance.

M. REGNARD fait une communication sur un nouveau système d'attache pour consolider les toitures en ardoises.

Il existe un certain nombre de moyens destinés à consolider avec des clous, des crochets, des agrafes, les toitures en ardoises. La plupart de ces systèmes ne sont d'un emploi facile que lors de la pose d'une couverture. Le moyen nouveau, que nous allons décrire, de consolider une toiture en ardoises, offre l'avantage capital de pouvoir être appliqué aussi bien à une couverture existante qu'à une toiture en cours de pose. Elle se recommande à la fois par sa simplicité et la modicité de son prix, non moins que par son efficacité absolue, rendant solidaires toutes les ardoises d'une toiture de façon à empêcher d'une manière absolue leur soulèvement, même par les plus violents ouragans. Des crochets, en cuivre de préférence, ou en tout autre métal, et offrant avant la pose la forme d'un T, sont introduits entre les ardoises, la branche horizontale passant sous deux ardoises voisines, et la branche verticale passant entre ces deux ardoises et à travers un petit trou à la partie inférieure de l'ardoise supérieure. La branche verticale est alors rabattue sur l'ardoise supérieure, qui se trouve ainsi liée d'une manière absolue avec celles inférieures. Cette branche est généralement faite de deux griffes, ou parties symétriques, qui se rabattent l'une à droite, l'autre à gauche. Une légère rondelle, en cuivre, zinc ou fer, a été au préalable posée sur l'ardoise, pour rendre impossible l'éclatement que pourrait, sans cette précaution, produire le rabattement des deux griffes; cette rondelle peut avoir une forme quelconque, et offrir même un motif de décoration. La difficulté de percer le trou dans l'ardoise supérieure, difficulté qui semble assez grande au premier abord, a été surmontée de la façon la plus heureuse par l'emploi d'un emporte-pièce approprié, formé d'une pince de forme spéciale, assez analogue à une pince poinçonneuse de contrôle, et combinée de manière à percer très-facilement et avec la plus grande netteté des ouvertures oblongues, sans faire éclater l'ardoise, quelque près du bord que l'on opère. Ce système a été appliqué, en 1876, sur plusieurs bâtiments de stations de la ligne de Bretigny à Orléans, ainsi qu'au château de M. Bidard, à l'Isle, près Vendôme. Les agrafes revenant à un ou deux centimes pièce, et la pose en étant très-facile, on voit qu'il y a là un moyen économique et efficace de réparer et de consolider les toitures en ardoises; dans les pays exposés à des vents violents surtout, ce procédé, qui est

Digitized by Google

applicable par le premier venu, paraît appelé à rendre de véritables services.

M. LE PRÉSIDENT ne peut qu'approuver ce système d'attache qui, en solidarisant toutes les ardoises d'une couverture, leur permet de résister efficacement à l'action du vent. Il pense que pour cette raison, ce système pourra être très-avantageusement employé sur les côtes et dans les contrées où règnent de grands vents. Toutefois, malgré les avantages que présente ce système, comme il modifie un peu les conditions du travail actuel, ne peut-on se demander si son adoption n'aura pas de peine à vaincre l'inertie des ouvriers couvreurs, si réfractaires comme d'ailleurs presque tous les ouvriers du bâtiment, aux innovations apportées dans la pratique de leur métier?

M. REGNARD répond que cet inconvénient ne s'est pas rencontré, grâce sans doute à l'extrême facilité avec laquelle se fait la pose des ardoises d'après le nouveau procédé.

M. PÉRISSÉ désire savoir si le trou percé dans l'ardoise ne donne pas lieu à un défaut d'étanchéité, pouvant faire craindre la pénétration à travers la couverture de la pluie fouettée par les grands vents sur le bord de la mer.

M. REGNARD explique que le jeu laissé dans le trou par le passage du crochet, ne dépasse pas 1/10e de $^{m}/_{m}$, et que ce vide est bientôt bouché par les poussières qui forment un joint hermétique. On ne peut avoir à redouter l'invasion de l'eau que lors des rafales et des bourrasques, qui refoulent la pluie de bas en haut, et la font remonter entre les ardoises. Cette circonstance se présente d'ailleurs aussi dans le système ordinaire, mais avec plus de gravité que dans le système nouveau qui, maintenant les ardoises parfaitement serrées les unes contre les autres, les empêche de se soulever et pour ainsi dire de clapoter.

M. REY se demande si le porte-à-faux qui résulte de ce que les ardoises s'appuient sur les crochets additionnels, ne les expose pas à se briser plus fréquemment, quand on marche sur la couverture.

M. LE PRÉSIDENT dit que c'est à l'expérience à dire son dernier mot sur les mérites du nouveau système comparé à l'ancien. Le faible écartement ménagé par le crochet entre deux lames superposées peut engendrer des effets de capillarité sur lesquels il sera intéressant de connaître les résultats de la pratique. Il compte sur M. Regnard pour vouloir bien les communiquer à la Société.

M. REGNARD donne ensuite communication d'un nouveau système de tampons obturateurs creux, servant au tamponnement, en cas d'avarie, des tubes de chaudières tubulaires, de machines locomotives, locomobiles de marine ou autres.

Lorsqu'un tube vient à crever dans une chaudière tubulaire, ou seulement à fuir, par suite d'une fissure en un point quelconque de sa longueur, on est obligé de tamponner ce tube à ses deux extrémités pour maintenir

Digitized by Google

la chaudière en feu. On emploie quelquefois à cet effet des tampons en bois; quelquefois aussi on se sert de tampons en fer, tournés, légèrement coniques, qui sont emmanchés à force dans le tube qu'il faut condamner. Ces deux procédés ont des inconvénients faciles à reconnaître. Les tampons en bois se gonflent beaucoup par l'absorption d'eau, et font quelquefois augmenter le diamètre du tube au dedans de la chaudière, de façon à rendre son extraction très-difficile lorsqu'on veut le remplacer.

Les tampons en fer tournés, qui sont d'un assez bon usage pour obturer des trous parfaitement ronds, sont absolument défectueux dès que le trou est légèrement ovalisé, soit par suite d'une légère déformation du tube matté, soit, s'il s'agit de tubes avec viroles, par suite d'une variation, même peu sensible, de l'épaisseur de cette virole sur sa circonférence; or on conçoit qu'il est bien plus rare de rencontrer un trou parfaitement circulaire, qu'un trou légèrement ovalisé, soit par suite d'un imperceptible défaut dans la pose, soit par suite d'une usure des bords de la virole par les ringards de nettoyage, et même par les escarbilles. Il est impossible dans ce cas, de parvenir à rendre l'obturation complète, et il se produit malheureusement trop souvent qu'on n'arrive, en frappant sur ce tampon en fer plein, qu'à produire la rupture, entre deux trous, de la plaque tubulaire, accident dont la préparation entraîne à des frais considérables.

Le tampon obturateur creux remédie à tous ces inconvénients, tout en étant d'un prix inférieur à celui des tampons en fer pleins. Il consiste en un dé, en tôle emboutie, d'une épaisseur appropriée au diamètre, et variant de 2 à 4 ou 5 millimètres. Il se met en place comme un tampon ordinaire, et on l'enfonce exactement de même, au marteau, en employant un outil analogue au chasse-viroles. Si le trou présente quelque ovalisation, on conçoit que ce tampon, à cause de sa flexibilité, ne peut faire autrement que de se conformer au profil de l'ouverture dans laquelle il est chassé, et d'en épouser rigoureusement la forme, de manière à étancher parfaitement la fuite. Une défectuosité même considérable dans la forme du trou n'empêche pas ce tampon de donner une occlusion parfaitement hermétique, et cela sans être obligé de frapper plus qu'il ne convient, sans aucun danger par suite pour la plaque tubulaire. D'un poids bien moindre, à égal diamètre, que le tampon plein, le tampon obturateur creux présentant une moindre inertie, s'enfonce bien plus aisément, ne tenant pas coup sous le choc du marteau.

Nous terminerons en disant que ce système est appliqué depuis dix-huit mois avec succès sur le chemin de fer du Nord à Fives, et que son emploi semble appelé à se généraliser pour toutes les chaudières tubulaires, non-seulement de locomotives, mais de chaudières fixes, de marine, de locomobiles, etc.

M. Lemaréchal demande si les tampons creux s'accommodent de la conicité que l'on a l'habitude de donner aux trous des plaques tubulaires des chaudières à vapeur.

Digitized by Google

M. P. Regnard répond que la conicité extérieure des tampons est précisément la même que la conicité intérieure des viroles des tubes.

M. Quéruel fait observer que l'on obtiendrait probablement un joint plus étanche si l'on retournait le tampon, c'est-à-dire si l'ouverture se trouvait sur la petite base, celle qui est dirigée vers l'intérieur de la chaudière. Il cite à l'appui de son observation, certaines expériences qu'il a faites sur le bouchage des bouteilles, contenant des eaux gazeuses. Il employait des bouchons creux, qui, par la force des gaz, se trouvaient pressés fortement contre les parois du goulot de la bouteille, et y produisaient une étanchéité parfaite, par la même action que celles des cuirs de Brama des presses hydrauliques.

M. Regnard admet que cette forme de tampon, fermée par le gros bout, serait peut-être théoriquement plus parfaite que celle adoptée, mais elle entraînerait des difficultés de fabrication, qui font reculer devant son emploi, ces tampons étant, comme les viroles de chaudières, fabriquées par emboutissage. Il ne voit pas comment on en effectuerait la pose.

M. le Président dit que sous une apparence de simplicité, cette disposition de tampon creux qui, il faut le dire en passant, est due à l'invention de M. Regnard et de M. Frappier, l'un de ses amis, présente un véritable intérêt, car cet organe d'un ajustement facile, offre un secours immédiat lors des ruptures de tubes qui se produisent en marche; grâce à cette disposition les chaudières de locomotives sont mises en état de continuer leur service jusqu'à leur arrivée aux ateliers de réparations.

M. Rolin donne communication de son Mémoire sur les chemins de fer de la Turquie d'Asie.

La Turquie d'Asie considérée au point de vue orographique, peut se diviser en trois régions.

La première région comprend la Péninsule de l'Asie Mineure et l'Arménie, elle s'étend de l'ouest à l'est de la Méditerranée au Caucasse, et du nord au sud de la Mer Noire au bassin de la Mésopotamie, dont elle est séparée par les monts Taurus.

La seconde région comprend la Syrie et la Mésopotamie, elle s'étend de l'ouest à l'est de la Méditerranée à la Perse, et du nord au sud de la région précédente à l'Arabie et au golfe Persique.

La troisième région borde la rive est de la Mer Rouge.

La première région peut se subdiviser elle-même en trois parties bien distinctes:

1) La région formant la presqu'île de l'Asie Mineure est formée de vallées plus ou moins abruptes, descendant des hauts plateaux et qui vont s'ouvrir à la mer vers l'ouest, le nord-ouest et le sud-ouest.

2) La région des hauts plateaux qui bordent à l'ouest la partie précédente, ces plateaux dont l'altitude moyenne varie de 800 à 1200 mètres, s'étendent vers la Mer Noire en gradins successifs, et les fleuves qui cou-

Digitized by Google

lent sur ces plateaux n'y forment pas de vallées proprement dites pouvant être utilisées pour le tracé d'un chemin de fer. L'aire de ces plateaux peut être figurée par un triangle dont les côtés seraient :

a) Trébizonde, Sivas, Césarée, Karaman.
b) Karaman, Konia, Afiun-Kara-Hissar et Brousse.
c) Trébizonde, Amassia et Brousse.

3) La troisième partie est formée des massifs montagneux de l'Arménie, dont les villes de Van et Erzéroum peuvent figurer les centres, de ces montagnes descendent, par des vallées étroites, des fleuves qui coulent vers la Mer Noire, la Mer Caspienne, la mer Méditerranée et le golfe Persique.

La seconde région, comprenant la Syrie et la Mésopotamie, est formée presque exclusivement de l'énorme bassin du Tigre et de l'Euphrate, c'est un immense plateau mamelonné, s'inclinant de l'ouest et du nord vers le golfe Persique et dans lequel sont encaissées les fertiles vallées du Tigre, de l'Euphrate et de leurs affluents.

Actuellement les moyens de communication entre les différentes villes de la Turquie d'Asie et les ports de mer sont excessivement restreints, il existe beaucoup de chaussées anciennes, qui sont d'un usage très-incommode, les chaussées macadamisées sont en très-petit nombre, les routes de Beyrouth à Damas, de Moudania et Guemlek à Brousse, de Trébizonde à Erzéroum sont à peu près les seules qui soient en bon état de conservation.

Les chemins de fer en exploitation sont les suivants :

Haidar-Pacha à Ismidt.
Smyrne à Allah-Cheir et à Aïdin.

Le premier de ces chemins, d'une longueur de 91 kilomètres, fut terminé en 1873, il est exploité en régie par le gouvernement ottoman, et donne une recette moyenne kilométrique de 12 000 francs. M. Goschler a donné sur les deux lignes suivantes, partant de Smyrne, des renseignements détaillés dans la séance du 21 juillet 1876.

Le défaut de moyens de communication et les inconvénients qui en résultaient pour le pays avaient frappé le gouvernement; en 1872, il décida de faire étudier un réseau de voies ferrées devant relier les diverses villes de l'Asie à Constantinople, et il chargea M. Pressel de ce travail, qui ne put malheureusement être complétement terminé.

La configuration générale de la Turquie d'Asie imposait naturellement la construction d'une voie reliant le golfe Persique à la Méditerranée, et d'une autre voie destinée à relier cette dernière à Constantinople. De cette grande artère de Constantinople à Bagdad, se détacheraient des rameaux qui iraient joindre la Mer Noire à l'est et la Mer Égée à l'ouest.

Pour relier la Méditerranée au golfe Persique, on avait le choix entre plusieurs tracés que je vais examiner sommairement.

Digitized by Google

1°) *Tracé par Tripoli, Oms, Tadmour, Deir* et *l'Euphrate.* Ce tracé ne présentait pas de grandes difficultés; de Tripoli à Deir, on traversait le plateau mamelonné qui s'étend entre l'Anti-Liban et l'Euphrate, et de Deir on descendait l'Euphrate, soit en empruntant cette rivière, soit en établissant une voie dans sa vallée.

Ce tracé ne rencontrerait aucun trafic sur sa route, on aurait eu des difficultés pour se procurer des ouvriers dans ce pays, habité seulement par des tribus nomades, n'offrant pas toute la sécurité désirable; ce tracé a donc dû être rejeté.

2°) *Par Tripoli, Oms, Alep et le nord de la Syrie.* Ce tracé a pour seul inconvénient d'allonger le parcours du nord de la Syrie à la mer.

Étant donnée la nécessité de relier la Méditerranée au golfe Persique, par le nord de la Syrie, il vaut mieux prendre pour point d'attache les ports du nord de la Syrie.

3°) *Tracé par Alexandrette, Alep, Biredjik,* etc. Le port d'Alexandrette (Iscanderoun) est le plus commode des abris de la Syrie septentrionale, mais pour le relier au railway qui passerait par Alep, il faudrait traverser l'Akma-Dagh, montagne très-élevée, dans laquelle existe le col du Beïlan, qui exigerait un tunnel de 10 kilomètres environ. Alexandrette est soumis aux fièvres paludéennes ainsi qu'aux tremblements de terre. — Il ne fallait pas songer à gagner le nord de la Mésopotamie en allant d'Alexandrette à Biredjik, directement par Aïntab, la région est montagneuse et n'offre pas de place pour un tracé de chemin de fer.

On a donc dû chercher un autre passage pour aboutir sur la rive méditerranéenne.

4°) *Tracé par Suédié, Alep,* etc. Du plateau, d'Alep on peut descendre très-facilement à la mer par la vallée de l'Oronte, qui tombe dans la mer à Suédié. Sa vallée, à son passage dans le Djebel, Ansarieh, est étroite mais néanmoins on peut y développer facilement un tracé. Il n'existe pas de port à Suédié mais on peut y créer un port artificiel, les fonds d'ancrage y sont solides et peu éloignés des rives.

On a donc été conduit à adopter, comme port d'attache sur la Méditerranée, le port de Suédié.

Dans une communication faite à la Société par M. Édouard Simon, en 1871[1]; il adopte d'après M. Latham, ingénieur anglais, comme tracé d'un chemin de fer devant relier le golfe Persique à la Méditerranée, la ligne Alexandrette, Alep, Biredjik, Orfa, Mardin, Nisibin, Tischabour, Kerkouk, Bagdad. C'est le tracé qui a été adopté par M. Pressel, sauf pour le port d'attache sur la Méditerranée.

M. Édouard Simon indique, qu'à Suédié il n'y a pas de port et que la vallée de l'Oronte ne peut donner place à un tracé, que les études des cols

1. Voir le Bulletin du 2e trimestre 1871, page 171.

Digitized by Google

de l'Akma-Dagh donneraient un passage moins élevé que celui de Beïlan. D'après les études exécutées, il résulte :

1° Que le col de Beïlan est le plus bas de l'Akma-Dagh ; 2° que la vallée de l'Oronte peut donner place à un tracé ; il resterait donc à l'avantage du tracé partant d'Alexandrette, la création du port de Suédié et à l'avantage du tracé partant de Suédié, le percement du Beïlan.

Les études des dépenses à effectuer dans l'anse de Suédié n'ont pu être évaluées d'une façon certaine, néanmoins la solution du passage du Beïlan paraît de beaucoup la plus coûteuse, elle a encore cet inconvénient d'allonger sensiblement le parcours d'Alep à la mer.

Suédié, Alep, Biredjik, Orfa, Mardin, Nisibin, Tischabour, Kerkouk, Bagdad. De Suédié le tracé suivrait l'Oronte, puis les hauts plateaux mésopotamiques, il traverserait l'Euphrate à Biredjik, pour de là aboutir à Mardin, toujours en suivant les hauts plateaux ; puis de là il atteindrait la rive du Tigre, qu'il traverse à Tischabour pour suivre sa vallée ou celle de ses affluents jusqu'à Bagdad. De Bagdad au golfe Persique le Tigre est navigable.

M. Rolin donne ensuite des détails sur la longueur du tracé, ainsi que sur sa difficulté de construction ; il indique la proportion de terres cultivées, ainsi que le nombre d'habitants par kilomètre carré et le tonnage des ports du Levant.

De Constantinople à la Mésopotamie. Par Eski-Cheir, pour aboutir de Constantinople à la ligne précédente, il faudra gravir les rampes qui conduisent aux hauts plateaux de l'Asie, dont j'ai parlé précédemment ; puis de ces hauts plateaux redescendre sur les plateaux plus bas de la haute Mésopotamie. Pour relier Constantinople au centre de la Turquie d'Asie, le port d'Ismidt, au fond du golfe de ce nom, est le plus convenable comme point d'attache de la grande ligne ; ce port est sûr et relié à Constantinople par un railway déjà en exploitation.

Pour arriver d'Ismidt sur le haut plateau central de l'Asie-Mineure, le seul tracé à adopter était celui qui a été suivi ; d'Ismidt à Eski-Cheir en suivant le fleuve Sakaria et l'un de ses affluents le Kara-Sou ; cette portion de ligne de 215 kilomètres de longueur présentera de grandes difficultés de construction. Eski-Cheir est à 700 mètres d'altitude, et aucune vallée ne conduit de ce point à Ismidt ; il faut gravir une série de plateaux successifs séparés par de hautes montagnes, dans lesquelles la Sakaria coule dans une gorge excessivement étroite. — Les travaux ont été commencés sur 100 kilomètres. — Cette partie de l'Anatolie est excessivement fertile et peuplée.

D'Eski-Cheir à la Mésopotamie, par *Konia, Karaman, Adana, Alexandrette, Alep.* A partir d'Eski-Cheir on se trouve sur le haut plateau central. deux directions peuvent être suivies pour atteindre la Mésopotamie.

La première, en suivant le contour ouest du plateau par Kutaya, Afiun-

Digitized by Google

Kara-Hissar, Karaman, puis descendant dans la vallée d'Adana, par la gorge de Bélemedek qui s'ouvre dans le Taurus; de là on pourrait gagner Alexandrette et Alep. Ce tracé a l'inconvénient de présenter des difficultés énormes entre Karaman, Adana, Alexandrette et Alep, et il ne dessert pas les centres populeux de l'Anatolie et de l'Arménie; il a donc été rejeté.

D'Eski-Cheir à la Mésopotamie, par *Sivri-Hissar, Césarée, Malatia et Mardin*. D'Eski-Cheir à Césarée on suivrait l'axe du plateau central, puis on longerait l'Helys (Kyzil-Irmak) jusqu'au plateau de Tonuz, séparatif des eaux de la mer Noire, de la Méditerranée et du golfe Persique; de ce plateau, par le Balouk-Chaï, on descendrait dans la plaine de Malatia, et de ce dernier point on suivrait l'Euphrate, puis les plateaux mésopotamiques, pour gagner la ligne Suédié-Bagdad à Mardin. Ce tracé a l'immense avantage de desservir à peu près tous les centres populeux et riches de l'Asie-Mineure; il offre moins de difficultés de construction que le précédent, il permet de joindre la mer Noire par un chemin de fer partant du plateau de Tonuz, passant par Sivas et suivant la vallée du Yéchil, Irmak, jusqu'à Samsoun; il permet aussi de relier le centre de l'Arménie par un chemin de fer passant par Divirig, et suivant la vallée de l'Euphrate jusqu'à Erzéroum.

Ce tracé n'a pas été étudié définitivement sur tout son parcours, mais on peut affirmer *à priori*, que de tous les tracés devant relier Constantinople à la Mésopotamie, c'est le plus rationnel et le plus économique.

Sur cette artère viendrait se souder d'abord, les deux lignes que j'ai indiquées précédemment, et une ligne partant d'Eski-Cheir, passant à Afiun-Kara-Hissar et aboutissant à Smyrne, par les chemins déjà construits, soit par Aïndin, soit par Allah-Cheïr. Un autre embranchement pourrait être détaché des environs de Césarée, passant par Nigdé, Érégli, la gorge de Bélemedek, Adana et Mersina.

Au moyen du réseau que je viens d'esquisser sommairement, la Mésopotamie et les hauts plateaux persans auraient pu écouler leurs produits vers la Méditerranée, ainsi que vers Constantinople. L'Arménie aurait pu diriger ses produits, soit sur la mer Noire par Samsoun, soit sur Constantinople, Smyrne, ou Mersina.

Ce réseau, d'une longueur de 4000 kilomètres environ, aurait donc ouvert des débouchés énormes aux produits nombreux de ces riches pays.

M. Rolin termine en donnant quelques indications sur le mode d'exécution des travaux, et sur le rendement probable des lignes indiquées, ainsi que sur des concessions de chemins de fer secondaires; Bagdad à Kerbéla, Jaffa à Jérusalem, Ada-Bazar à Héradée.

M. Hovine fils désire savoir si le réseau actuel des routes dans la Turquie d'Asie serait suffisant pour alimenter, sans trop de frais, les nouvelles voies ferrées qui sont en projet.

M. Rolin répond qu'il y a peu de routes facilement praticables en Asie,

Digitized by Google

mais que pour les Orientaux le temps ne compte pas, et que presque tous les habitants de ces pays ont leurs buffles, qui leur permettent de transporter eux-mêmes les produits du sol et les marchandises, sans entraîner une dépense supérieure à 0,40 par tonne et par kilomètre.

M. Orsat demande si le passage ouvert à travers l'isthme de Suez, ne rend pas maintenant moins indispensable la création des chemins de fer dans la Turquie d'Asie.

M. Rolin. C'est vrai pour les régions du Sud, mais dans le Nord et l'Est de la Turquie, il y a des contrées fertiles et bien cultivées qui réclament absolument de nouveaux moyens de transport.

M. le Président remercie M. Rolin de son intéressante communication.

MM. Clerfayt, Cornesse, Desmarest, Jury, Kern, Lelorrain, Pontzen, Ronssin et Villemer ont été reçus Membres sociétaires et M. Mëeus Membre associé.

Digitized by Google

ÉLECTRO-SÉMAPHORES

POUR LE BLOCK-SYSTEM

LEUR APPLICATION SUR LES LIGNES A DOUBLE ET A SIMPLE VOIE

(SYSTÈME LARTIGUE, TESSE ET PRUD'HOMME)

PAR M. H. LARTIGUE.

L'exploitation des chemins de fer à deux voies, par sections, ou système du cantonnement et de la couverture permanente des trains (en Angleterre *Block-System*), a pour objet de substituer la distance au temps, pour assurer l'espacement entre deux trains successifs marchant dans le même sens, en divisant le réseau en sections, sur lesquelles il est interdit de faire librement circuler deux trains simultanément.

Dans le *Block-System* proprement dit, l'interdiction de faire circuler deux trains simultanément sur la même section est absolue.

Sur plusieurs chemins de fer, les règlements autorisent à engager un second train sur une section déjà occupée, mais avec des formalités et des précautions particulières, et à une vitesse telle que le mécanicien puisse s'arrêter complétement dans la limite de l'espace qu'il voit libre devant lui; c'est alors le *Block-permissive-System.*

Dans le système actuel, sur la presque totalité des chemins de fer français, la règle adoptée est de ne laisser partir deux trains de même vitesse qu'avec un intervalle de dix minutes. Ce temps est diminué si le second train marche plus lentement que le premier, ou s'il y a une bifurcation à peu de distance.

On calcule, au contraire, approximativement le retard à imposer au second train si sa marche normale est supérieure à celle du premier.

Ces intervalles ont été fixés en se basant sur ce principe qu'en cas d'accident ou d'arrêt du train en pleine voie, l'agent de queue de ce

Digitized by Google

train devra se porter au pas de course à un kilomètre au moins en arrière et faire les signaux réglementaires.

Mais cette garantie est souvent illusoire; en effet, l'arrêt des trains est rarement brusque et est précédé d'un ralentissement plus ou moins prolongé, qui diminue d'autant l'intervalle prescrit; il y a hésitation de la part des agents, qui, avant de s'éloigner de leur train, veulent généralement s'assurer s'il ne pourra pas repartir à très-bref délai; en cas d'accident, ils sont quelquefois blessés et dans l'impossibilité d'aller en temps utile faire les signaux; en un mot, la théorie, aussi bien que des expériences trop fréquentes, démontre que la sécurité appuyée sur le *temps* n'est pas suffisante.

Le système basé sur l'*espace* présente des avantages incontestables, puisque, au moment où un train s'engage sur une section, il a devant lui un espace déterminé (3 ou 4 kilomètres) libre de tout obstacle, et que, les sections se couvrant en quelque sorte les unes les autres, il est protégé en arrière, même en cas d'arrêt en pleine voie, par une distance suffisante pour qu'un train suivant puisse toujours être arrêté à temps, quelle que soit sa vitesse.

On pourrait appuyer ce qui précède sur l'opinion et les ouvrages des ingénieurs les plus autorisés. En Angleterre, il est généralement admis que le *Block-System* est la condition *sine quâ non* de la sécurité d'une exploitation un peu active. Il est obligatoire dans plusieurs pays.

En 1873, en réponse à une interpellation qui lui était adressée à l'occasion d'une grave collision, M. le Ministre des travaux publics de Belgique déclarait que le *Block-System* était reconnu comme le seul moyen propre à prévenir le retour de pareils accidents, et que l'administration des chemins de fer de l'État en avait résolu l'application. (Chambre des Représentants, séance du 23 avril 1873.)

Le mode d'exploitation par cantonnement, outre qu'il supprime les chances de collisions, a, sur le système actuel, cette supériorité qu'il permet de réduire le délai, entre l'expédition des trains successifs, au temps rigoureusement nécessaire, et d'augmenter ainsi dans une notable proportion la puissance du chemin de fer. (Voir la note, p. 19.)

Ce qui, au début, avait empêché d'adopter ce système a été l'impossibilité de prévenir le point d'origine d'une section de l'arrivée des trains à l'autre extrémité, condition cependant essentielle.

L'application de la télégraphie électrique à l'exploitation des chemins de fer est venue donner en principe la solution désirée; mais il

Digitized by Google

est facile de comprendre que, pour ce genre de communications, il est impossible d'employer les appareils et les formules des dépêches ordinaires, ce qui causerait à tout moment des arrêts ou des ralentissements inutiles.

Il a donc fallu songer à des appareils spéciaux, annonçant uniquement, à l'origine des sections, le départ des trains, et, à l'autre extrémité, leur arrivée.

L'exploitation à simple voie, outre les précautions pour couvrir les trains en arrière, exige la certitude qu'aucun train n'a été expédié en sens inverse de celui que l'on a à faire partir.

Dans ces deux cas, des appareils de même genre peuvent être utilisés.

Plusieurs systèmes ont été proposés.

En France, le plus connu est l'appareil Tyer, en service au chemin de fer de Ceinture et sur quelques points du chemin de Paris-Lyon-Méditerranée; il est aussi employé avec quelques modifications sur les lignes de banlieue du chemin de fer de l'Ouest.

Il présente de graves inconvénients : d'une construction délicate, il exige une surveillance assidue; de plus, sa manœuvre, pour ne pas être une entrave à la marche régulière des trains, et même pour ne pas constituer un véritable danger au point de vue de la sécurité, suppose la présence constante et l'attention soutenue des agents.

M. Regnault a fait appliquer sur la ligne de Versailles (rive gauche) des appareils très-ingénieusement combinés, dans lesquels une partie des inconvénients de l'appareil Tyer ont été évités.

A l'étranger, on a mis en usage plusieurs types d'appareils se rapprochant tous plus ou moins de l'appareil Tyer.

Sur quelques lignes anglaises, on a adopté le système Preece, dont le principe est différent, et dans lequel on s'attache, pour éviter les malentendus et les fausses manœuvres, à reproduire en petit, dans les appareils, la forme des signaux à vue qui règlent la marche des trains sur la voie; on se sert, en outre, de sonneries pour échanger des signaux de convention déterminés par le nombre de séries de tintements.

Outre les inconvénients spéciaux à chacun de ces systèmes, il en est un qui est commun à tous, c'est que les appareils en usage sont des instruments de cabinet, donnant simplement des indications d'après lesquelles on fait sur la voie les signaux à vue, qui sont les véritables garanties de la sécurité; les appareils à vue sont complétement indépendants des appareils électriques; par conséquent, il peut se produire,

Digitized by Google

dans la répétition des signaux, des oublis ou des erreurs ayant les conséquences les plus fatales ; le *Block-System*, dans ces conditions, perd la plus grande partie des avantages qu'il présente en théorie.

En outre, ces dispositions nécessitent, pour chaque signal, au moins une double manœuvre, et quelquefois même un double personnel pour la manipulation.

MM. Siemens et Halske construisent un appareil dans lequel l'envoi des signaux électriques est subordonné à la position des signaux à vue. Le principe est bon, mais les instruments sont d'une construction extrêmement compliquée et certains organes en sont très-délicats ; ils doivent être maintenus en parfait état d'entretien, exigeant par cela même de fréquents nettoyages. Leur fonctionnement nécessite des manœuvres multiples, variables suivant les cas, et difficiles à comprendre pour les agents d'ordre inférieur qui sont appelés à les exécuter.

Tous ces systèmes exigent un personnel assidu et exercé.

Un défaut très-sérieux qu'ils présentent aussi tous, c'est que, dans certains cas, par suite de dérangement de l'appareil ou de rupture de fil sur la ligne, le signal électrique peut indiquer *voie libre*, quand la voie est réellement occupée. Un agent distrait, ou ignorant le dérangement, peut donc alors, sur le vu de cette indication, laisser engager un train à tort, et causer un accident.

On a toujours considéré comme un grave inconvénient la séparation du signal à vue du signal électrique. M. W.-H. Preece s'exprimait ainsi : « S'il était possible de faire fonctionner un signal extérieur par l'élec- « tricité, ce système serait parfait ; mais, comme la puissance de l'élec- « tricité est à peu près limitée, nous n'avons pas encore réussi à « produire une force suffisante pour faire fonctionner nos signaux « extérieurs avec quelque degré de certitude. Nous sommes donc obligés « d'adopter ce qui s'en rapproche le plus, et de compter sur de petits « instruments électriques qui indiquent à l'agent les signaux à faire, en « lui montrant les signaux qu'il doit exécuter lui-même. »

(*On railway electric signalling, by W.-H. Preece assoc. inst. C.-E., p.* 14, *London, Truscott son et Simmons*, 1865).

L'emploi de l'électro-aimant Hughes nous a permis de réaliser le désir exprimé par M. Preece.

Cet appareil donne en effet le moyen de faire agir, à distance et par l'envoi d'un courant instantané, une force qui peut être très-considérable.

Digitized by Google

Il est composé, comme on sait, d'un aimant fixe en fer à cheval, dont les branches sont prolongées par des cylindres de fer doux entourés de bobines. Ces cylindres ou noyaux deviennent les véritables pôles de l'aimant, et maintiennent une palette au contact.

En faisant passer dans les bobines un courant de sens inverse de celui qui produirait une aimantation de même nature que celle de l'aimant, on affaiblit celui-ci; il laisse échapper alors la palette sous l'action d'une force antagoniste (poids ou ressort) que l'on peut utiliser comme moteur.

On comprend que cette force n'a d'autre limite que celle de la puissance attractive de l'aimant qui doit la contrebalancer pour retenir la palette. Cette puissance peut être très-grande, plusieurs centaines de kilogrammes, avec les aimants que l'on est parvenu à construire; du reste, la force antagoniste est facilement multipliée par les procédés les plus simples.

On peut donc produire à distance et instantanément des effets mécaniques déterminés très-considérables, pourvu que, après chaque effet produit, la force antagoniste soit restituée par un moteur quelconque et la palette ramenée au contact de l'électro-aimant.

Dans nos appareils, la force antagoniste est toujours et uniquement la pesanteur agissant au moyen de leviers que l'électricité déclenche; et le bras de l'agent est le moteur qui restitue la force antagoniste en soulevant et en enclenchant de nouveau les leviers [1].

Par conséquent, trois forces sont mises en jeu :

1° La pesanteur, dont l'action est préparée par le bras de l'homme;

2° La puissance attractive de l'aimant fixe qui contrebalance la pesanteur;

3° L'électricité qui rompt l'équilibre de ces deux forces et, en affaiblissant la seconde, permet à la première de produire ses effets.

Pour être à la fois sûrs et pratiques, les appareils destinés à assurer la couverture permanente des trains en marche doivent remplir les conditions suivantes :

1° Solidarité des appareils électriques, destinés à donner et à recevoir les avis à distance avec les appareils mécaniques des signaux à vue; par

1. On pourrait, au besoin, faire manœuvrer automatiquement les électro-sémaphores par le train lui-même. Mais nous ne mentionnons cette disposition que pour mémoire, et sous toutes réserves.

Digitized by Google

conséquent, unité de manœuvre et pas de confusion possible sur la nature des signaux produits.

2° Simplicité de manœuvre devant se borner à un seul mouvement pour chaque signal.

3° Emploi le plus restreint possible de l'électricité : signaux destinés à couvrir les trains en arrière, faits mécaniquement et enclenchés sans qu'elle intervienne, son action étant bornée à *annoncer en avant* l'expédition d'un train et *à effacer en arrière* les signaux couvrant la section; si l'électricité vient à faire défaut, signaux maintenus *à l'arrêt*, ce qui peut produire momentanément des retards dans la circulation des trains, en les forçant indûment à ralentir sur une section effectivement libre, mais ce qui, en aucun cas, ne peut constituer un danger en indiquant *voie libre*, quand la voie est réellement occupée.

4° Contrôle immédiat de tout signal électrique envoyé, par un *signal automatique* en retour, reçu par l'agent expéditeur aussitôt que l'effet qu'il a voulu produire au poste correspondant est réellement produit, mais alors seulement; permanence de cet accusé de réception, de telle façon que chaque agent connaisse constamment, non-seulement l'état de son poste, mais aussi l'état des signaux des deux postes avec lesquels il est en correspondance.

5° Impossibilité pour l'agent d'effacer un signal couvrant l'origine d'une section au départ d'un train, sans l'intervention de l'agent de l'autre extrémité de la section qui, par l'arrivée du train annoncé, a la certitude que la voie n'est réellement plus occupée.

Par contre, réduction, au temps rigoureusement nécessaire, du délai pendant lequel la voie est maintenue fermée, ce délai cessant aussitôt que le train a quitté la section.

6° Sur les lignes à simple voie, impossibilité d'effacer le signal à vue fermant l'extrémité d'une section sans que la voie ait été préalablement fermée absolument à l'autre extrémité, résultat obtenu par une seule manœuvre, sans exiger la présence d'un agent au poste correspondant.

Quand la voie est fermée aux deux extrémités, c'est-à-dire pendant le temps qu'un train circule sur la section à voie unique, impossibilité d'envoyer de nouveaux signaux, qui pourraient faire confusion dans l'esprit des agents.

7° Simplicité et uniformité des appareils électriques établis dans des conditions de solidité parfaite, et aussi peu susceptibles que possible de dérangements, de façon à n'exiger que peu d'entretien et à pouvoir

Digitized by Google

être manipulés par les agents, hommes ou femmes, que l'on emploie d'habitude pour la garde de la voie et des passages à niveau.

8° Avertissement, par un signal acoustique, de la production de tout signal électrique envoyé d'un poste correspondant.

Nous croyons avoir complétement réalisé les conditions de ce programme dans notre système électro-sémaphorique, dont nous allons décrire les principales dispositions.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

A l'origine de chaque section est un poste gardé et muni :

1° D'un mât sémaphorique pour les signaux à vue;

2° D'appareils, en même nombre que les bras du sémaphore, au moyen desquels on manœuvre à la fois : sur place, mécaniquement, le bras auquel chaque appareil est relié; à distance, au moyen de l'électricité, le bras symétrique du sémaphore correspondant;

3° Enfin, d'une pile.

Les dispositions des pièces, des mâts et des appareils, diffèrent légèrement, selon qu'ils sont employés pour une exploitation à doubles voies à sections maintenues ouvertes si ce n'est pendant la circulation des trains, ce qui est le système français; ou bien pour doubles voies à sections fermées si ce n'est au moment de l'admission des trains (système anglais); ou enfin pour les lignes à simple voie.

Nous décrirons d'abord le système adopté au chemin de fer du Nord, pour les doubles voies à sections libres, et nous indiquerons ensuite les variantes introduites pour les deux autres cas.

MAT SÉMAPHORIQUE.

I

Lignes à double voie. (Fig. 1.)

Le sémaphore est composé d'un mât S muni de quatre bras, mobiles autour d'un axe et dûment équilibrés; (aux postes extrêmes, l'appareil est dédoublé.)

Les bras supérieurs, ou ailes A B, sont destinés à couvrir les trains

Digitized by Google

expédiés du poste; les bras inférieurs, ou voyants, *a b*, servent à indiquer l'expédition des trains des postes voisins.

Les bras supérieurs A B, abandonnés à eux-mêmes, pendent le long du mât; nous disons alors qu'ils sont déclenchés. Si, au moyen de la tringle de tirage T, on exerce une traction, le bras arrive à être horizontal, et s'il est maintenu dans cette position, il est enclenché [1].

Les bras inférieurs *a b*, abandonnés à eux-mêmes ou déclenchés, restent horizontaux. Sous l'action d'une traction exercée par la tringle de tirage *t*, ils sont dressés, et, étant enclenchés, ils restent effacés le long du mât.

Les bras supérieurs sont de grande dimension, peints en rouge du côté qui doit être montré au mécanicien marchant vers le mât, et percés d'un œil garni d'un verre rouge.

Il suffit que le garde du poste voie les bras inférieurs, sans qu'ils constituent un signal pour le mécanicien; aussi, ils sont de petite dimension, placés assez bas, et peints d'une couleur qui n'ait pas de signification comme signal.

Les bras sont à claire-voie, pour donner moins de prise au vent et être plus facilement distingués de loin sur le ciel.

La tringle de tirage T, *t* est en deux parties articulées sur un levier de transmission Q, *q*. (Fig. 3.) Cette disposition a un double but: 1° de faciliter l'opération de tirage par les appareils de manœuvre que nous allons décrire, et de permettre de placer chacun de ces appareils directement au-dessous du signal qu'il manœuvre; 2° d'utiliser les mouvements de relèvement du levier lors du déclenchement du bras, pour faire frapper, au moyen d'un mécanisme unique et très-simple, deux marteaux sur de forts timbres, ce qui forme le carillon par lequel le garde est averti toutes les fois qu'il reçoit un signal. La longueur des tringles est réglée au moyen d'écrous.

1. Les ailes peuvent ne pas être manœuvrées directement par les tringles de tirage et être équilibrées par un contrepoids de façon à être ramenées à la position horizontale. Au moyen d'une tringle T' avec poignée, on les efface à la main (fig. 2).

Dans ce cas, la tringle de tirage T dépendant des appareils de manœuvre agit sur un levier accessoire, oscillant sur le même axe que l'aile et qui, suivant qu'il est enclenché ou déclenché par l'appareil, cale l'aile dans la position horizontale au moyen d'un tourillon ou doigt fixé au corps de celle-ci, ou lui permet d'être effacée.

Si cette disposition était adoptée, il est entendu que, dans notre description des appareils et de la manœuvre, toutes les fois que nous nous servirons de cette expression : *l'aile est déclenchée et effacée*, cela voudra dire : *le levier qui cale l'aile est déclenché, et celle-ci rendue libre peut être effacée à la main.*

Digitized by Google

Une échelle E est fixée le long du mât pour l'entretien.

L'éclairage des mâts des sections à double voie est fait au moyen d'une lanterne unique L, à l'huile ou au pétrole, fixée sur des crochets à un porte-lanterne P, que l'on hisse au moyen d'une chaîne C, passant sur une poulie *p*.

La chaîne est accrochée à un levier Z à crochet mobile sur un axe, et muni d'un contrepoids Z′; elle est ainsi tendue de façon à maintenir la lanterne à la hauteur voulue, quel que puisse être l'allongement des maillons.

La lanterne est à quatre feux, à verres blancs et à réflecteurs paraboliques.

Le premier feu éclaire directement en avant, et, pendant l'enclenchement, au travers de l'œil muni d'un verre rouge percé dans le corps du grand bras A, qui se développe du côté où la lanterne est accrochée.

Le deuxième feu éclaire en arrière et au travers de l'œil percé dans le talon de l'autre grand bras B.

Le troisième et le quatrième feux éclairent le bas du mât en se réfléchissant sur deux miroirs à 45° sur l'horizon, l'un *m* porté sur la lanterne, l'autre *m′* fixé à demeure sur le mât, dans une position symétrique au premier par rapport à l'axe du mât.

Les bras inférieurs, ou voyants *a*, *b*, sont à section triangulaire, et leurs faces inclinées réfléchissent d'une manière diffuse les rayons tombant verticalement des miroirs. Étant à portée du garde et ne devant pas être aperçus de loin par les mécaniciens, ils sont ainsi suffisamment éclairés, de même que les appareils de manœuvre.

II

Lignes à voie unique (Fig. 4.).

Le mât est semblable à celui des doubles voies, mais le bras inférieur ou voyant, qui annonce l'expédition des trains, devant avoir le caractère de signal d'arrêt au même titre que le bras supérieur ou aile, serait de même forme (fig. 4) et de même dimension, peint en rouge et percé d'un œil à verre rouge, et placé aussi haut que possible du même côté du mât, pour que le mécanicien obéisse aux indications de l'un ou de l'autre bras sans qu'il puisse y avoir d'erreur d'interprétation.

Digitized by Google

Pour que l'éclairage pût être fait par une seule lanterne, celle-ci ne serait hissée qu'à la hauteur des bras inférieurs. Des écrans mobiles à verre rouge manœuvrés par la tringle de tirage des ailes supérieures se placeraient devant les feux de la lanterne lorsque ces ailes seraient apparentes, et s'en écarteraient lorsqu'elles seraient effacées.

Des réflecteurs continueraient à éclairer le bas du mât et les appareils de manœuvre.

La pièce de carillon serait pourvue d'un loquet W. (fig. 3.) Une came fixée sur l'axe des leviers *q*, où s'articulent les tringles de tirage du bras inférieur, soulèverait la queue de ce loquet lorsque ce bras serait apparent, et l'appliquerait contre une dent de rochet que porterait l'axe des leviers Q, où s'articulent les tringles de tirage des ailes supérieures, qui, dans le service des lignes à voie unique, sont supposées habituellement horizontales.

Le jeu de cet axe, et par suite, de l'aile, qui en est solidaire, serait donc rendu absolument impossible, et l'aile serait clavetée dans sa position horizontale et apparente, aussi longtemps que le bras inférieur serait lui-même apparent.

Quand le voyant aurait été effacé, le loquet se relèverait par le poids de sa queue, et le jeu de l'aile serait rendu libre de nouveau.

Les appareils pour les signaux à vue, soit de doubles voies, soit de voie unique peuvent, suivant les circonstances et les habitudes locales, être modifiés. On leur donnerait à volonté la forme de disques ou de sémaphores, manœuvrés à distance par des chaînes ou des fils de fer sur poulies de renvoi. Au moyen des dispositions les plus simples, ils pourraient être commandés directement par les appareils de manœuvre, ou bien, étant manœuvrés par des leviers ordinaires, ils seraient simplement calés et maintenus dans la position d'arrêt par les appareils (fig. 6).

Dans cette forme, l'agent a la faculté de les mettre à l'arrêt simplement par le levier ordinaire, pour une manœuvre dans la station, par exemple, et de les effacer ensuite; tandis que, s'ils sont calés par l'appareil électrique, pour couvrir un train en marche, ils ne sont rendus libres que par le poste correspondant.

Mais, dans aucun cas, l'agent ne peut manœuvrer l'appareil électrique et envoyer un signal au poste correspondant, sans que son signal à vue soit ou ait été mis à la position d'arrêt.

Digitized by Google

APPAREILS DE MANŒUVRE (Fig. 7).

Le principe de notre système est que les bras sémaphoriques soient enclenchés par une force purement mécanique, la main du garde, et déclenchés par l'électricité.

Chaque bras est relié par sa tringle de tirage T*t* à un appareil qui permet ce double résultat, et qui est disposé de la manière suivante :

M est une boîte en fonte ou en tôle; un croisillon *z* est ajusté sur la partie antérieure, et forme, avec le fond, le bâti sur lequel sont montés tous les organes de l'appareil.

Un axe X traverse le fond et le croisillon *z*, et porte, en avant, une manivelle M, et, en arrière, à angle droit, une bielle B. C'est au tourillon de cette bielle qu'est articulée la tringle de tirage des bras sémaphoriques.

Sur l'axe X est fixé un doigt D, formant avec la bielle un angle de 120°. L'axe porte encore une came en hélice C et un disque en bois ou en ébonite O (fig. 7 *bis*).

Un cliquet W détermine la rotation de l'axe toujours dans le même sens, de droite à gauche, et fixe, par deux dents de rochet, deux positions correspondantes de la bielle, l'une verticale, l'autre à 210° environ (un demi-tour, plus 30° après avoir dépassé le point mort).

A gauche de la boîte, un second axe F, sur le moyeu duquel sont fixées en fausse équerre deux règles prismatiques, l'une J, dans le plan vertical de la came C, l'autre *r*, dans le plan vertical du doigt D.

Le long d'une tringle filetée portée sur la première règle J, se meut un double contrepoids de réglage. Un butoir à vis détermine la limite de la chute de la règle J.

Un anneau *d* permet de suspendre à la règle J une tringle qui se termine par une poignée hors de l'appareil, et donne la faculté de déclencher cet appareil à la main. Cette disposition est particulière aux appareils qui manœuvrent les bras inférieurs ou voyants des mâts des doubles voies.

La seconde règle *r* est articulée en U avec un butoir P, porté sur un troisième axe *x* également dans le plan du doigt D, et sur lequel ce doigt vient appuyer lorsque la bielle occupe la position à 210° de la verticale.

La règle *r* porte de plus à sa partie inférieure, sur un ressort plat,

Digitized by Google

une palette *p* en fer doux, que maintient habituellement fixée un fort électro-aimant du système Hughes A, actionné par le courant négatif[1].

Le disque en bois ou ébonite O est garni sur sa périphérie de sept touches saillantes en laiton argenté; l'une, *t* communique métalliquement avec l'axe, la masse de l'appareil et le fil de terre T; les six autres *a a' b b' c c'* sont reliées deux à deux.

Le disque tourne entre quatre frotteurs ajustés sur ressorts, communiquant : le premier A avec le fil de la bobine de l'électro-aimant A, le deuxième + avec la borne + à laquelle aboutit le pôle positif d'une pile; le troisième — avec la borne — ou pôle négatif de la pile; le quatrième, enfin, L avec la ligne; sur cette dernière communication est interposé un paratonnerre Z, à pointes et à papier.

Cet ensemble constitue ainsi un commutateur à inversement qui, selon la position du disque, isole l'électro-aimant de la ligne, ou les met en relation, ou bien envoie successivement sur cette ligne le courant positif ou négatif de la pile.

Toutes les communications et les pièces de contact devant être isolées sont montées sur une planche N, fixée sur le fond de la boîte M.

Dans la partie supérieure de la boîte est placé un second électro-aimant Hughes R, symétrique au premier A, c'est-à-dire que la bobine du pôle boréal de l'aimant R est reliée avec la bobine du pôle austral de l'aimant A, et que la bobine du pôle austral de l'aimant R est reliée avec la bobine du pôle boréal de l'aimant A. Il sera, par conséquent, actionné par le courant positif.

Ainsi le courant de la ligne qui affaiblit l'aimant A n'agit pas sur l'aimant R, et réciproquement.

L'aimant R maintient une palette *f*, portée sur un axe I, qui supporte aussi une tringle filetée avec contrepoids de réglage *l'*, un marteau de timbre *t*, un voyant V, mi-parti rouge et blanc, et une pièce Y, terminée par une palette en fer doux *g*. Cette pièce Y est articulée au moyen de la tringle S avec la règle J.

Dans le cas où l'axe I a pivoté et où la palette *f* est écartée des pôles de l'aimant, la pièce *g* s'applique contre les branches de cet aimant et le maintient armé.

Des volets en tôle, fixés à vis sur la face antérieure de la boîte des

1. Nous employons le courant négatif pour actionner l'aimant principal, afin de nous soustraire à l'effet des mélanges des fils des sémaphores avec les fils télégraphiques ordinaires, sur lesquels circulent d'habitude des courants positifs.

Digitized by Google

appareils, la ferment et abritent toutes les pièces. Un œil pratiqué vis-à-vis du voyant intérieur V, en laisse apercevoir, suivant sa position d'enclenchement ou de déclenchement, la partie blanche ou la partie rouge. Des indications sont inscrites sur la face de l'appareil et sur le voyant intérieur.

Un commutateur K est annexé à l'appareil de manœuvre. Au repos, il met le fil de ligne en communication avec le frotteur L et, par conséquent, avec l'appareil. Quand on le fait agir au moyen d'une manette extérieure, il interrompt la communication de l'appareil avec le fil de ligne, et établit la relation de celui-ci avec un pôle déterminé de la pile, en mettant l'autre pôle de la pile à la terre.

Au fil L est reliée une sonnerie trembleuse qui sert pour échanger entre les postes, et par les fils qui desservent les appareils, des signaux de convention, soit relatifs à la manœuvre des sémaphores, soit pour faire rentrer dans le circuit télégraphique un poste qui n'a pas de service permanent, soit pour d'autres usages. Elle est ou placée sur le mât, ou disposée dans l'intérieur de l'appareil.

Les appareils de manœuvre, en nombre égal à celui des bras sémaphoriques, sont fixés sur le mât au moyen de solides étriers en fer, à une hauteur convenable au-dessus du sol et suffisamment écartés du mât pour permettre librement le jeu des bielles et des tringles de tirage.

Les appareils qui manœuvrent les bras supérieurs ou ailes sont ordinairement désignés par le N° 1.

Ceux qui manœuvrent les bras inférieurs ou voyants portent le N° 2.

L'appareil de manœuvre pour les mâts de lignes à voie unique ne diffère de celui des doubles voies que par la manière dont sont établies les communications.

Le système, tel qu'il vient d'être décrit, est appliqué au chemin de fer du Nord depuis la fin de 1873.

Les appréhensions que certains ingénieurs avaient conçues au sujet de l'influence fâcheuse que les orages pourraient avoir sur la régularité du fonctionnement des sémaphores, ne se sont pas réalisées.

M. le Ministre des travaux publics a prescrit une enquête qui a été faite par le service du Contrôle d'abord, puis par la Commission des inventions et règlements des chemins de fer. Pas un seul dérangement par l'orage n'a été signalé : bien plus, il a été établi que les sémaphores

Digitized by Google

avaient fonctionné sans interruption, alors que les parafoudres protégeant les appareils télégraphiques des stations où ces sémaphores étaient placés, avaient été brûlés, et que les communications par télégraphe étaient devenues impossibles à cause de la violence des orages.

Le peu d'action qu'exerce sur les appareils sémaphoriques l'électricité atmosphérique, doit probablement être attribuée à la disposition de l'aimant Hughes, qui n'est influencé que par des courants d'une direction et d'une intensité déterminées.

Comme néanmoins il ne serait pas absolument impossible que, soit par l'action de l'électricité atmosphérique, soit pour une autre cause imprévue, une aile de sémaphore à l'arrêt ne s'effaçât indûment, M. Heurteau, ingénieur des mines, attaché à l'exploitation du chemin de fer d'Orléans, assisté de M. Guillot, contrôleur du service télégraphique de la même Compagnie, a proposé une modification des appareils, qui ne complique en rien la construction, mais qui donne une garantie de plus.

Voici en quoi consiste ce perfectionnement :

Pendant tout le temps que le voyant d'un poste B est apparent, ce qui signifie qu'un train marche vers le poste, un courant est envoyé dans l'appareil de manœuvre de l'aile du poste correspondant en arrière A, laquelle aile doit régulièrement être horizontale, puisqu'elle doit couvrir le train engagé sur la section ; le courant a pour effet, d'une part, tant que tout se passe normalement, d'augmenter dans une proportion notable la force attractive de l'aimant Hughes qui enclenche alors l'aile de A, et par conséquent de diminuer les chances d'un déclenchement irrégulier ; et en outre, si pour une cause quelconque, l'appareil vient à être indûment déclenché, et que l'aile de A tombe, une sonnerie d'alarme se fait entendre dans les deux postes A et B, en correspondance, et prévient ainsi les agents, surtout celui du poste en arrière A, dont l'aile est irrégulièrement effacée, que les signaux ont été faussés, que la protection du train engagé sur la section a disparu, et que la situation normale doit être rétablie au plus tôt.

La Compagnie d'Orléans a prescrit une première application sur son réseau des électro-sémaphores, avec la modification de MM. Heurteau et Guillot.

Digitized by Google

USAGE DES ÉLECTRO-SÉMAPHORES SUR LES LIGNES A DOUBLE VOIE.

A——B——C . . . .——N.

Soit A B C... N une ligne à deux voies sur laquelle sont placés les postes sémaphoriques A, B, C... N.

Les espaces entre A B, B C... représentent donc les sections protégées à chacune de leurs extrémités par un mât de signaux.

Au moment du départ d'un train, l'agent du premier poste A, en faisant faire un demi-tour de manivelle, met à l'arrêt la grande aile de son mât et envoie un courant électrique qui fait apparaître le voyant du mât du poste n° 2, B. Il reçoit immédiatement l'accusé de réception automatique du signal qu'il a voulu produire : son rôle est fini.

Au passage du train devant le second poste B, le garde agit d'abord comme celui du poste n° 1, c'est-à-dire qu'il couvre le train en l'annonçant au poste n° 3, C; puis il manœuvre son voyant pour l'effacer et envoie par là un courant qui efface la grande aile du poste n° 1, A. Il reçoit les accusés de réception, et devient passif à son tour.

A tous les postes intermédiaires, les choses se passent de même, jusqu'au dernier poste N dont l'agent n'a pas à prévenir en avant et se borne à effacer le signal d'arrêt du poste précédent.

Ainsi, le train est signalé en avant de proche en proche, et protégé constamment en arrière par l'espace qui sépare les postes entre eux. Dans ces conditions, une collision est impossible, d'autant plus que les gardes des sémaphores, ainsi qu'il a été indiqué plus haut, ne peuvent effacer eux-mêmes le signal qu'ils ont fait, et que l'intervention de l'électricité envoyée du poste voisin en avant est indispensable pour cela[1].

1. Au lieu d'être effacée complétement lorsque le voyant du poste B est manœuvré, au départ du train de B vers C, l'aile du poste A pourrait, au moyen d'un verrou adapté à son appareil de manœuvre, être arrêtée à la position inclinée à 45°, qui commande le ralentissement. Après deux ou trois minutes, c'est-à-dire quand le train aurait déjà parcouru une partie de la section B C, le verrou serait retiré, soit automatiquement, soit par l'agent du poste, et l'aile s'effacerait. Le train serait donc couvert par deux signaux, un de ralentissement en A, le second d'arrêt en B.

Cette manière de procéder, utile surtout quand les sections sont très-courtes, est celle du chemin de fer de Ceinture, à Paris.

Digitized by Google

La figure théorique 9 indique la position des signaux selon la situation des trains sur les sections d'une ligne à deux voies.

On a demandé pourquoi nous avions séparé les deux manœuvres par lesquelles on rend libre une section que le train vient de quitter et on annonce ce train, tout en le couvrant, vers la section suivante. C'est très-intentionnellement que nous procédons ainsi, car rien n'était plus facile que de solidariser ces manœuvres, par exemple, les appareils étant dans le même plan, en accouplant par une bielle les deux manivelles qui, au lieu d'être calées sur leur axe, auraient alors agi sur celui-ci au moyen d'un toc.

Il nous a semblé que les avantages de la solidarité des signaux étaient plus apparents que réels. D'abord, aux postes devant lesquels les trains passent sans s'arrêter, il est toujours bon de couvrir le train avant de rendre libre la section qu'il quitte, pour être maître de laisser cette section bloquée en cas d'incident. En second lieu, dans les stations ou s'opèrent des garages, et c'est le grand nombre, *il faut* que l'on puisse rendre libre une section sans annoncer le départ du train qui la quitte, quand ce train ne continue pas son parcours [1].

Partant de ce principe que la simplicité est la première qualité d'un système qui doit être mis aux mains d'un personnel quelconque, nous devions éviter de multiplier les types des appareils, d'en varier les manœuvres suivant les cas, et surtout d'obliger les agents à en démonter des pièces pour avoir la possibilité d'exécuter certains signaux, comme cela a lieu dans le système de Siemens et Halske.

C'est à quoi entraîne la solidarité des indications envoyées en avant et en arrière des postes, et elle devient ainsi une cause de gêne au lieu de faciliter le service [2]. Néanmoins, pour ceux qui ne seraient pas de

1. La principale raison que l'on fait valoir en faveur de l'envoi simultané des deux signaux en avant et en arrière, est que l'agent qui a débloqué la section que le train vient de quitter, peut oublier de couvrir celle où il s'engage.

Nous l'avons dit : la simultanéité ne pourrait exister qu'aux points où les trains passent sans s'arrêter : si l'agent est à son poste, il est peu probable qu'il omette la première partie d'une manœuvre qu'il a à faire à chaque train, pour exécuter seulement la seconde; s'il est absent, ou s'il ne fait pas de signal, la section reste couverte au poste précédent. En outre, on perd de vue que dans le système électro-sémaphorique, tout ce qui s'exécute à un poste est reproduit d'une manière permanente par les appareils des postes correspondants, de telle sorte que chaque irrégularité sera constatée par les agents des deux postes voisins. Pour dégager leur responsabilité, ils n'hésiteront pas à la signaler, et leurs témoignages concordants ne laisseront pas de doute sur la réalité du fait.

Il y a donc là un moyen de contrôle dont l'efficacité sera une très-grande garantie pour la régularité du service.

2. Un appareil est d'autant plus compliqué et susceptible de dérangement qu'il desert

Digitized by Google

notre avis, nous répétons qu'il est parfaitement possible de réaliser cette solidarité avec les électro-sémaphores.

RÉPARTITION DES POSTES SÉMAPHORIQUES SUR LES LIGNES A DOUBLE VOIE.

Il serait à peu près impossible de diviser les réseaux de chemins de fer en parties rigoureusement égales. Cette uniformité n'aurait d'ailleurs aucune importance, et il suffit de donner à chacune des sections une longueur assez grande pour que les trains successifs soient maintenus à un écart convenable, et d'un autre côté de multiplier assez les postes pour ne pas gêner la circulation et faire perdre du temps en imposant aux trains de trop longs espacements [1].

En se maintenant entre les deux limites qu'impose cette règle, on pourra en général répartir les sémaphores de façon à les placer aux stations et aux bifurcations, et, pour les points intermédiaires, aux passages à niveau principaux qui, étant déjà gardés, n'exigeraient pas de personnel supplémentaire.

un plus grand nombre de directions, et s'il vient à se déranger, le service des signaux est, par cela même, compromis à la fois dans toutes ces directions.

1. Sur la ligne de Saint-Denis à Chantilly, les postes sémaphoriques sont espacés de 4 à 5 kilomètres. Ces distances sont trop longues, sur une section où la circulation est aussi active, surtout les jours où s'organise un service de trains supplémentaires.

Le 31 mai 1874, jour des courses de Chantilly, on a intercalé dans le circuit des sémaphores 10 postes volants, dans lesquels au moyen de sonneries à bobines d'inversement et à timbres distincts, on reproduisait à l'oreille les signaux à vue des sémaphores. Les signaux au mécanicien se faisaient à la main.

Les sections avaient par là été réduites à une longueur de 2 kilomètres.

On a pu ainsi expédier à cinq minutes d'intervalle l'un de l'autre, et à grande vitesse, 16 trains de 22 voitures, et transporter près de 11,000 voyageurs de 1re et 2e classe, sur un parcours de 41 kilomètres, en 140 minutes comptées depuis le moment du départ de Chantilly du premier train, jusqu'au moment où le dernier déposait ses voyageurs sur le quai de la gare de Paris.

Le diagramme de la marche des trains relevé sur des pointages faits au passage devant les postes de signaux était d'une régularité parfaite ; on pouvait en déduire qu'il eût été possible, sans compromettre la sécurité, de réduire à trois minutes l'intervalle des trains et à 110 minutes la durée du service.

Pour les courses de 1875 et de 1876, le service a été organisé de la même manière, et les résultats ont été identiques.

Digitized by Google

POSTES INTERMÉDIAIRES DES GARDE-LIGNES.

Si, entre les postes sémaphoriques, il se trouvait des points où il fût utile de signaler l'approche des trains, tels que passages à niveau à grande circulation, on y établirait des appareils (fig. 8) placés dans le circuit des sémaphores, et qui par un signal à vue et le jeu d'un carillon annonceraient l'expédition du train du poste sémaphorique en arrière A. Après le passage du train, le signal à vue serait mis à l'arrêt par le garde : le train serait donc encore protégé en arrière par ce signal.

L'arrivée du train à l'autre extrémité de la section B pourrait aussi être signalée d'une façon analogue.

CORRESPONDANCES ACCESSOIRES.

En dehors des indications réglementaires pour le *Block-System*, les agents des postes sémaphoriques en correspondance et les gardes des postes intermédiaires, dont il vient d'être parlé, peuvent échanger des signaux accessoires au moyen de sonneries et de commutateurs annexés aux appareils. Ces signaux, bien distincts des indications principales, ne peuvent entraîner aucune confusion et donnent de grandes facilités pour l'exploitation en permettant, au moyen d'un vocabulaire de convention, de signaler certains incidents déterminés.

Sur la ligne de Chantilly, on les utilise pour faire aviser, par le garde du sémaphore, les chefs de stations, dont les télégraphes ne sont pas en communication permanente, qu'ils aient à rentrer dans le circuit pour recevoir une dépêche.

Il est bien entendu que l'échange de ces signaux accessoires n'influe en rien sur la position des ailes et des voyants des électro-sémaphores.

USAGE DES SÉMAPHORES SUR LES LIGNES A VOIE UNIQUE.

Nous allons aborder la question des lignes exploitées à simple voie.

Sur ces lignes, la sécurité de l'exploitation exige que les trains soient, non-seulement couverts en arrière, comme sur les lignes à deux voies,

Digitized by Google

pour éviter qu'ils ne soient rejoints par un train marchant dans le même sens, mais encore, et surtout, qu'ils soient protégés en avant contre les chances d'une rencontre avec un train marchant en sens contraire.

En Angleterre on emploie, dans ce but, les petits appareils à signaux du *Block-system* sur les doubles voies. Les inconvénients résultant de la non-solidarité des signaux à vue avec les indications électriques existent donc à un plus haut degré encore, comme des accidents très-graves l'ont prouvé.

En Allemagne, en Autriche, en Italie et au Nord français, on se sert de grosses sonneries, réparties aux passages à niveau gardés entre les stations, et dont les tintements indiquent l'expédition et le sens de la marche des trains. Une série de tintements indique qu'un train est expédié dans un sens, deux séries qu'il marche en sens contraire.

Cette disposition présente un avantage sérieux, c'est de faire concourir à la sécurité les agents espacés sur la ligne et de fournir ainsi la possibilité de corriger une erreur commise par les stations. Si, en effet, les garde-lignes entendent successivement les sonneries accuser l'expédition de deux trains en sens contraire, ils peuvent faire le signal d'arrêt au premier train qui se présente et éviter une collision.

Mais dans le système des sonneries, outre que les signaux pour les mécaniciens doivent être repétés par les agents qui peuvent les omettre, les indications des sonneries étant passagères, il arrive qu'un agent distrait, surpris ou éloigné de l'appareil, peut se tromper sur le nombre de séries de tintements; et, comme c'est sur cette distinction que tout repose, il peut être amené à donner aux mécaniciens des indications erronées.

De plus, la protection des trains marchant dans le même sens n'est basée que sur l'intervalle de temps qui sépare les passages successifs devant les postes gardés; et rien n'annonce, ni à la station qui a expédié un train, ni aux garde-lignes, que ce train a quitté la section.

L'exploitation avec les sonneries dites allemandes ne rentre donc pas dans le *Block-Sytem* proprement dit.

Le système électro-sémaphorique, avec les signaux permanents et solidaires des indications électriques, pourrait offrir à la sécurité de l'exploitation des garanties plus grandes encore, d'abord en rendant à peu près impossible l'expédition sur une section de deux trains mar-

Digitized by Google

chant en sens contraire, et ensuite en substituant aux sonneries de la voie des appareils destinés à donner aux garde-lignes, outre le signal acoustique essentiellement fugitif, des indications permanentes directement visibles par le mécanicien, et sur la valeur desquelles il ne peut pas y avoir de confusion.

De plus, ce système garantit le train aussi bien des chances d'une collision causée par un train suivant marchant dans le même sens que d'une rencontre par un train marchant en sens inverse.

En donnant au voyant des sémaphores la valeur d'un signal d'arrêt, il semble que l'on pourrait utiliser pour les lignes à voie unique les appareils tels qu'ils ont été décrits pour l'application aux doubles voies, puisqu'en faisant apparaître ce voyant à la station en avant, on y fermerait la voie pour les trains se présentant en sens inverse, et que l'on aurait, par l'accusé de réception, la certitude que le signal a bien été fait.

Nous n'avons pas considéré cette garantie comme suffisante, et nous avons disposé notre système d'après les conditions suivantes.

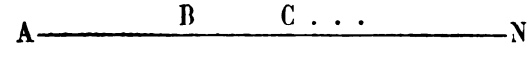
Comme le signal par lequel une station annonce l'expédition d'un train doit avoir pour conséquence qu'aucun train ne peut être expédié en sens contraire, le voyant des sémaphores est remplacé par une aile de même forme que l'aile supérieure, et se développant du même côté du mât, de telle sorte qu'elle ait la même valeur de signal d'arrêt pour tout mécanicien marchant vers le mât (fig. 4).

Les ailes supérieures des mâts sont toujours enclenchées à la position horizontale et par conséquent les sections sont fermées aux deux extrémités, ainsi que cela se pratique sur un grand nombre de lignes, conformément au principe posé par W.-F. Cooke : « Chaque point de la « voie est un point dangereux que l'on doit couvrir par des signaux « à distance. »

L'agent d'un poste ne peut effacer les ailes supérieures et ne peut donc directement permettre l'introduction d'un train sur la section ainsi fermée.

L'aile supérieure est effacée par un courant émis du poste voisin en avant.

L'aile inférieure devient apparente sous l'action d'un courant émis du poste voisin en arrière.



Digitized by Google

Soit une ligne à voie unique AN sur laquelle sont installés les postes sémaphoriques A, B, C ... N.

Au moment où le train doit être expédié, l'agent du poste expéditeur A, qui ne peut admettre le train sur la section fermée par un signal d'arrêt, et qui ne peut effacer lui-même ce signal, envoie au poste en avant B, au moyen d'un commutateur, un courant pour déclencher en B l'appareil de l'aile inférieure remplaçant le voyant qui, en double voie, annonce la marche des trains vers le poste.

En passant de la position verticale (effacée) à la position horizontale (apparente), cette aile inférieure de B produit des effets multiples : 1° elle confirme par un second signal de même valeur le signal d'arrêt donné par l'aile supérieure de son mât qui, ainsi qu'il a été dit, est normalement horizontale ; 2° elle clavette, au moyen d'un encliquetage mécanique fort simple (fig. 5), cette aile supérieure, et l'immobilise absolument à la position horizontale commandant l'arrêt ; 3° elle provoque vers le poste correspondant A, d'où le train doit être expédié, l'envoi automatique d'un courant qui déclenche l'appareil d'aile supérieure de ce poste A et permet d'effacer cette aile, d'ouvrir la section de A vers B, et d'expédier le train.

Ainsi ce n'est que par la confirmation du signal d'arrêt à la station en avant B, que la voie peut être ouverte à la station expéditrice A ; et comme ces effets se produisent sans l'intervention des agents de la station en avant B, on peut dire que c'est la station expéditrice A qui ouvre la section, mais par l'intermédiaire des appareils de la station B en avant, immobilisés à la position qui commande l'arrêt à tout train marchant en sens contraire ; ou bien encore que c'est la clôture absolue de l'extrémité d'une section B, opérée par l'agent de l'autre extrémité A, qui ouvre cette section en A.

Lorsque le train a été introduit sur la section ainsi ouverte, l'agent de la station expéditrice A replace l'aile supérieure de son mât à la position horizontale, et le train s'avance protégé en avant par un double signal d'arrêt, couvert en arrière par un signal de même nature, comme dans le *Block-system* des doubles voies.

La remise à l'horizontale de l'aile supérieure du mât de la station expéditrice A, détermine à la station en avant B l'apparition, accompagnée d'un coup de timbre ou du jeu d'un carillon, d'un écran avec inscription, dans l'appareil de manœuvre. C'est l'organe d'accusé de réception des appareils de double voie qui est utilisé ainsi, pour signaler

Digitized by Google

que le train dont l'expédition avait été annoncée a effectivement été introduit sur la section.

Dès ce moment, aucune modification dans les signaux ne peut être faite jusqu'à ce que, le train étant parvenu à la station en avant B, l'agent de cette station relève l'aile inférieure de son mât et déclavette ainsi l'aile supérieure.

Cette opération détermine dans l'appareil de manœuvre du poste A, d'où le train avait été expédié, l'apparition de l'écran avec inscription indiquant que le train a quitté la section ; mais cela n'a pas d'influence sur la position des ailes supérieures qui restent horizontales, et pour expédier un second train, il faut agir de nouveau comme pour le premier train.

Si le train arrivé en B continue sa marche, les agents des postes sémaphoriques agissent successivement comme il a été dit, l'agent de B fermant la voie en avant en C par le fait qu'il provoque l'ouverture de la section pour expédier le train, et ainsi de suite (fig. 10).

Ces opérations, ne demandant pas plus de quelques secondes, peuvent se faire sans qu'un train, dût-il même franchir les postes sans s'y arrêter, fût en quoi que ce soit retardé dans son parcours.

Il résulte de ce qui précède que la sécurité ne pourrait être compromise que par l'agent du poste sémaphorique B vers lequel marche le train, s'il relevait prématurément l'aile inférieure et se faisait ouvrir la voie pour expédier un train en sens inverse.

Cette chance d'accident serait peu probable, puisque c'est la présence du train au poste sémaphorique qui indique seule que l'aile inférieure doit être manœuvrée. Mais pour éviter même cette possibilité d'erreur, ou du moins pour en annuler les conséquences, le système comporte l'emploi, basé sur le principe qui a présidé à l'adoption des sonneries allemandes, de signaux pour les garde-lignes dans les conditions suivantes.

Ces appareils, placés aux passages à niveau gardés, et de préférence aux aiguilles, à l'origine des voies d'évitement des stations, sont composés d'un mât à deux ailes qu'un électro-aimant Hughes enclenche à la position horizontale, et que le garde ne peut effacer (fig. 8).

Un train qui, expédié indûment d'une station, ou forçant le signal sémaphorique, s'engagerait sur la voie avant qu'elle n'eût été ouverte comme il a été dit, rencontrerait donc une série de signaux commandant l'arrêt.

Digitized by Google

Pour que la voie soit libre d'un bout à l'autre de la section pour un train marchant dans un sens déterminé, il faut que tous les signaux qu'il rencontre soient effacés.

Or, le courant envoyé par l'agent de A, qui veut provoquer l'ouverture de la section, ne produit aucun effet sur les signaux intermédiaires des garde-lignes. C'est le courant de retour, émis en conséquence de l'apparition de l'aile inférieure du poste en avant B, qui, en même temps qu'il efface l'aile de la station expéditrice A, efface aussi tous les signaux intermédiaires dans le sens de la marche du train ; ce n'est donc que lorsque la voie est doublement fermée en avant en B, qu'elle est ouverte, non seulement à la station expéditrice A, mais sur tout le parcours de A en B.

Pour appeler l'attention du garde et lui signaler l'approche d'un train, le déclenchement des appareils est accompagné d'un signal acoustique, soit un coup de timbre, soit de préférence le jeu d'un carillon que l'on pourrait varier selon le sens de la marche du train annoncé.

Lorsque le train est passé, le garde relève à l'horizontale l'aile de son mât et ne peut plus l'effacer. Elle protége ainsi le train contre un second train expédié dans le même sens.

En Autriche et ailleurs, les sonneries des gardes sont utilisées non-seulement pour signaler la marche des trains, mais pour l'échange entre les gardes et les stations d'un certain nombre de signaux réglés par un vocabulaire de convention.

C'est toujours le nombre des séries de tintements et leur groupement qui constituent ces signaux.

Le règlement impose donc aux agents des stations et des passages à niveau une attention continuelle, pour qu'ils puissent saisir le sens des indications que leur fournissent les sonneries.

De plus, le dispositif des sonneries autrichiennes implique l'usage d'un courant électrique continu, ce qui est généralement regardé comme un inconvénient.

Le système électro-sémaphorique, loin de priver les agents du moyen de correspondance qui vient d'être indiqué, le perfectionne au contraire.

Comme il a été dit pour la double voie, les gardes des postes intermédiaires ont la faculté d'échanger des signaux de convention par des sonneries accessoires. Les facilités sont donc les mêmes qu'avec les sonneries autrichiennes, et cette combinaison a le très-grand avantage que la correspondance accessoire a lieu au moyen d'appareils distincts

Digitized by Google

de ceux qui servent à couvrir les trains et à en annoncer la marche; que par là on évite les confusions, qui ne peuvent manquer de se produire, en multipliant les indications données par les mêmes organes, surtout ces indications étant basées sur le nombre et le groupement des tintements, et exigeant par conséquent, pour être comprises, une oreille exercée et une attention soutenue.

On peut se demander ce qui se produirait si l'ouverture d'une section était provoquée simultanément par deux postes en correspondance pour deux trains marchant en sens inverse.

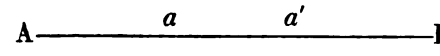
Il serait difficile d'admettre que la manœuvre nécessaire pour demander l'ouverture de la voie de deux côtés à la fois, fût assez simultanée pour qu'un courant ne devançât pas l'autre de la fraction de seconde suffisante à l'action électrique; mais si, par impossible, les deux circuits étaient émis au même instant mathématique, les ailes des deux postes en correspondance seraient clavetées l'une et l'autre à la position horizontale par l'apparition des ailes inférieures, et les trains se trouveraient ainsi l'un et l'autre vis-à-vis d'un double signal d'arrêt.

Il serait alors nécessaire de recourir au télégraphe pour régler la situation selon les prescriptions réglementaires, c'est-à-dire que l'on rentrerait exceptionnellement dans les conditions de l'exploitation des lignes à simple voie non pourvues d'appareils spéciaux, où tous les incidents de l'exploitation donnent lieu à l'échange d'une série de dépêches obligatoires.

On a demandé quelles seraient les dispositions prises sur les sections d'une longueur considérable et sans voies de croisement intermédiaires, sur lesquelles il y aurait à expédier deux ou plusieurs trains dans le même sens à un intervalle plus court que le temps nécessaire pour que le premier train eût atteint la station en avant et dégagé la section.

Il y aurait lieu, sur ces sections, d'établir des postes sémaphoriques complets sur des points intermédiaires.

Soit la section A B sur laquelle sont intercallés deux postes intermédiaires *a a'*.



Si A doit expédier deux trains dans le même sens et que le pre-

Digitized by Google

mier n'ait pas le temps d'atteindre B avant l'heure d'expédition du second, comme il faudrait qu'il fût impossible à la station en avant B de se faire ouvrir la voie pour expédier un train en sens contraire avant que les deux trains dans le même sens eussent dégagé la section, les appareils seraient organisés de telle sorte que lorsque la station expéditrice A demande l'ouverture de la voie, les ailes inférieures des postes intermédiaires *a*, *a'* et celles de la station en avant B soient toutes déclenchées simultanément et deviennent horizontales pour commander l'arrêt en sens inverse. Une disposition mécanique des plus simples permet ce jeu des appareils.

En relevant son aile supérieure, pour couvrir le premier train, l'agent de la station expéditrice A signale au premier poste intermédiaire *a* le départ de ce train. Lorsqu'il a dépassé le premier poste *a*, l'agent de ce poste *a* le couvre et le signale de la même façon en avant, en *a'*, puis en relevant son aile inférieure, il permet à l'agent de la station expéditrice A de demander la voie pour expédier le second train.

Lors de son arrivée en *a*, l'agent du poste, si le premier train est déjà arrivé en *a'* se fait ouvrir la voie et laisse passer ce second train, et ainsi de suite, jusqu'à ce que les deux trains dans le même sens aient parcouru la section et soient parvenus à la station en avant B.

Avec les dispositions qui ont été indiquées pour les appareils des lignes à simple voie, il semble qu'il ne reste plus de chance de collision, qu'autant qu'un agent oublierait de remettre à l'horizontale l'aile supérieure de son mât après l'expédition des trains, ou bien encore qu'autant que le mécanicien passerait devant les signaux à vue sans les apercevoir.

La négligence de l'agent qui oublierait de relever l'aile de son mât après le passage d'un train ne compromettrait pas la sécurité pour les trains marchant en sens inverse, puisque l'aile inférieure doit forcément être à l'horizontale pour que la voie soit ouverte à l'autre bout de la section, et qu'elle suffirait à commander l'arrêt. Mais cet oubli pourrait avoir des inconvenients si deux trains étaient envoyés dans le même sens. Pour en empêcher les conséquences, il suffirait d'adopter, pour les ailes supérieures des postes et pour les ailes des mâts des garde-lignes, la disposition indiquée à la note de la page 8 (fig. 2).

Quant à la seconde hypothèse, celle où un mécanicien forcerait un signal d'arrêt, la solution consisterait à doubler le signal à vue par un

Digitized by Google

signal acoustique, soit un pétard sur le rail, placé et retiré par la manœuvre même de l'appareil sémaphorique, soit le sifflet électro-automoteur (système Lartigue, Forest et Digney), présenté à la Société des Ingénieurs civils à la séance du 18 juillet 1873, et qui est appliqué sur près de deux cents machines du Nord.

Outre leur fonction de couvrir les sections de voie entre les postes, les électro-sémaphores de voie unique donnent à chaque station la possibilité d'interdire l'expédition des trains des stations en correspondance : ils fonctionnent donc alors comme des signaux à distance, dont la portée serait la longueur même des sections.

Pour bloquer les deux sections en avant et en arrière, ou l'une d'elles, en immobilisant à la position d'arrêt les ailes supérieures des deux postes en correspondance, ou celle de l'un d'eux, il suffit, en effet, de supprimer la communication électrique par le fil qui relie les appareils en relation. Car il a été expliqué que l'aile supérieure d'un mât ne peut être déclenchée et effacée que par l'action d'un courant émané du poste en correspondance, lorsque l'aile inférieure de ce poste est mise à la position d'arrêt; si les courants ne peuvent circuler, les ailes resteront donc forcément enclenchées.

L'opération de supprimer la communication consisterait à agir sur un commutateur placé sur le circuit du fil. Celui qui est destiné aux correspondances accessoires par les sonneries adaptées aux appareils, pourrait être utilisé pour cela.

Cette facilité d'interdire la circulation sur une section pourrait même au besoin être exercée par les garde-lignes, pour couvrir en avant et en arrière un point devenu dangereux par un incident inopiné (éboulement, inondation, rupture de rails, etc.); en coupant simplement les fils sémaphoriques, ces agents immobiliseraient à la position d'arrêt les signaux des deux stations voisines et arrêteraient ainsi les trains dans les deux sens.

ENCLENCHEMENT RÉCIPROQUE DES SIGNAUX A VUE ET DES AIGUILLES.

La puissance de déclenchement de l'électro-aimant Hughes et la solidité des pièces des appareils de manœuvre et des autres parties des

Digitized by Google

sémaphores permettent d'enclencher directement les aiguilles de croisement par les signaux, ou les signaux par les aiguilles ; c'est l'*Interlocking-System* des Anglais, dernière garantie donnée à la sécurité. Les plus simples combinaisons de la mécanique permettent d'obtenir ce résultat.

De tout ce qui précède, il semble que l'on peut conclure que la part de ce qu'on appelle le hasard, ou la force majeure, dans les accidents de chemins de fer résultant de collisions, est supprimée ou du moins bien réduite tant sur les lignes à voie unique que sur celles à double voie.

La négligence ou l'absence des agents, les dérangements des appareils, les erreurs même peuvent entraver momentanément le service ; mais il faudrait la complicité raisonnée de plusieurs de ces agents pour déterminer une rencontre de deux trains sur la voie.

On pourra se convaincre que ce système, en conservant tous les avantages des autres dispositions déjà en usage, présente de nouveaux et sérieux gages de sécurité à l'exploitation des chemins de fer, et qu'il réalise les conditions du programme qu'Edwin Clark, successeur de Stephenson, posait comme le code du *Block-System*, et qu'il formulait ainsi :

« L'appareil doit être de la forme la plus simple et peu susceptible « de dérangement.

« Les signaux doivent être simples, peu nombreux et assez clairs « pour qu'une erreur ne puisse se produire.

« La mémoire des agents ne doit pas être en jeu, et les signaux doi- « vent par conséquent être permanents et non temporaires ; enfin, au- « cun accident ne doit pouvoir être causé par le dérangement de l'ap- « pareil ou l'absence du garde, mais ces irrégularités ne doivent « pouvoir occasionner qu'un retard aux trains. »

Digitized by Google

DÉPENSES DU SYSTÈME ÉLECTRO-SÉMAPHORIQUE.

Les frais occasionnés par l'usage du *Block-System* avec les électro-sémaphores se bornent aux dépenses de premier établissement et d'entretien des appareils. La question du personnel, si importante avec les autres systèmes, qui exigent des agents spéciaux, disparaît à peu près.

Dans son rapport du 23 février 1873 au Comité de Direction du Chemin de fer du Nord, M. Conche, ingénieur en chef des travaux, s'exprimait ainsi :

. . . . . .

« Quant à la manœuvre des appareils sémaphoriques, elle n'entraîne-
« rait ni la création d'un nouveau personnel, ni l'augmentation du per-
« sonnel exigé d'autre part par les nécessités du service.

« Je mets sous les yeux du Comité un appareil qui a servi pour les
« premiers essais : il est facile de constater que toutes les pièces en sont
« parfaitement solides; qu'il n'existe aucun organe délicat susceptible
« de dérangement, et que l'agent de l'intelligence la plus ordinaire est
« capable de le manipuler. L'effort qu'exige cette manœuvre ne dépasse
« pas d'ailleurs trois ou quatre kilogrammes.

« Dans ces conditions, les employés chargés dans les stations de
« de faire fonctionner les disques, et, aux passages à niveau, les gardes,
« hommes ou femmes, préposés actuellement aux barrières, pourront
« desservir les postes sémaphoriques : quelques minutes suffiront pour
« leur apprendre à se servir des appareils, et le travail supplémentaire
« qui en résultera pour eux sera absolument insignifiant.

« L'entretien journalier se bornera, comme pour tout autre signal à
« vue, à hisser, à retirer et à garnir la lanterne éclairant le mât pen-
« dant la nuit. L'appareil électrique et la pile seront tenus en bon état
« par les préposés du service télégraphique, qui s'occupent déjà des
« piles des disques et des postes de secours. Quant à la dépense d'en-
« tretien, elle sera limitée aux frais de l'éclairage, et à ceux d'une pile
« d'une douzaine d'éléments, qui, n'ayant à produire que de rares
« émissions de courant (deux par train), durera certainement plusieurs
« années sans avoir besoin d'être renouvelée.

« Ainsi, l'adoption du système d'exploitation basé sur le principe de

Digitized by Google

« la couverture permanente des trains, et sur la substitution de la dis-
« tance au temps, comme garantie de la sécurité, n'imposera, à vrai
« dire, à la Compagnie que les frais de première installation des ap-
« pareils à signaux. »

La dépense kilométrique de premier établissement dépend de la longueur moyenne des sections, et par conséquent du nombre de postes sémaphoriques à installer. Elle pourrait être évaluée ainsi pour une ligne de 40 kilomètres, en France, prise comme type :

La voie étant divisée en sections moyennes de		3 kil.	42,000 fr.	soit	1,050	par kil.
—	—	4 —	34,600	—	845	—
—	—	5 —	29,600	—	740	—
—	—	6 —	27,000	—	675	—
—	—	7 —	24,600	—	615	—
—	—	8 —	22,000	—	550	—

Les postes de garde-lignes intercalés facultativement devraient être comptés en plus; ils coûteraient chacun environ 400 francs.

Les estimations ci-dessus s'appliquent à l'installation complète du système et ne comportent aucuns frais accessoires; elles comprennent au contraire une assez large part pour l'imprévu.

Elles supposent seulement que les poteaux, sur lesquels doivent être portés les deux fils télégraphiques nécessaires aux transmissions sémaphoriques, sont déjà plantés. Les fils sont donc comptés pour 100 francs l'un par kilomètre.

L'entretien comprend les vérifications et les nettoyages nécessaires pour la bonne tenue des appareils, les menues réparations, la surveillance des fils. Ces trois articles sont représentés, comme dépenses, par les émoluments des agents chargés de l'entretien.

Il y a en outre les frais de la pile et de la lanterne pour les signaux de nuit (avec une lampe au pétrole de 7 lignes), de quelques pièces de rechange et de quelques fournitures.

Chaque poste coûte ainsi environ 120 francs par an.

(Éclairé à l'huile, il coûterait 150 francs.)

En y ajoutant les frais de surveillance des fils à 10 fr. par kilomètre, on évalue la dépense kilométrique du fait de l'entretien comme variant de 55 à 35 fr., selon le rapprochement des postes (3 kil. à 8 kil.).

Enfin, en additionnant les frais d'intérêt et d'amortissement de la dé-

Digitized by Google

pense de premier établissement (6 p. 100) et les frais d'entretien, on arrive à une somme variant de 115 à 70 fr. par kilomètre, comme accroissement des frais annuels d'exploitation par l'emploi du *Block-System* avec les électro-sémaphores.

Monsieur le Ministre des Travaux publics, sur la proposition de la Commission des inventions et règlements des Chemins de fer, a, par deux circulaires en date du 25 mars 1876 et du 31 janvier 1877, signalé les appareils électro-sémaphoriques à l'attention des Compagnies de Chemins de fer.

Digitized by Google

MÉMOIRE

SUR LA

RICHESSE MINÉRALE

DE LA

PROVINCE DE SANTANDER

PAR M. A. PIQUET.

CHAPITRE PREMIER.

Richesse minérale anciennement connue, telle qu'elle résulte des archives de Simancas.

Avant de faire connaître la richesse minérale actuellement connue de la province de *Santander*, nous donnerons par ordre alphabétique, et d'après les Archives de *Simancas*, la liste des mines anciennement connues.

Cet exposé, qui contient un nombre de mines assez considérable et d'un intérêt médiocre, montre que le mouvement minier qui devait prendre, plus tard, une extension dont rien à cette époque ne faisait présager l'importance, resta pendant près d'un siècle, de 1557 à 1626, concentré dans la *Liebana*.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la liste suivante pour reconnaître la cause du développement inattendu qu'ont acquis, aujourd'hui, les mines que nous nous proposons d'étudier dans ce mémoire. Les Archives de *Simancas* citent rarement, en effet, les mines de fer, et ne font aucune mention des gîtes calaminaires, dont l'importance industrielle était alors complétement ignorée.

Or, nous le verrons dans la suite de ce travail, ce sont ces deux

Digitized by Google

sortes de minerai qui forment aujourd'hui la principale richesse minérale de ce pays.

1° Mines d'argent et d'or. 1557.

Nous trouvons dans lesdites Archives deux mines d'or et d'argent, connues en 1557.

La première située aux abords de la fontaine de *Cimera*, un peu avant d'arriver au col d'*Aliba*, près de *Peñavieja*.

La deuxième à *Arquebanes*, au haut du col de *Turulledo*.

2° Mines de plomb. 1564.

En 1564, une mine de plomb, située au pic d'*Urosa*, près de la fontaine de *Badujo*.

Une autre sur le mont *Trullides*, et une troisième au-dessus de *Nuestra Señora de la Cruz* (Notre-Dame de la Croix).

3° Mines de plomb. 1582.

En 1582, une mine de plomb, située à *Peña Andra*, dans la *Liebana*.

4° Mines de cuivre.

En 1625 : 1° *une mine de cuivre*, située au col d'*Aliva*, à l'endroit appelé *Baldujar;*

2° *Une première mine de plomb et d'argent*, à *las Cabañas*, sous le chemin qui va au col d'*Aliba ;* une seconde à *Peña Sacra*, arrondissement de *Valdañezo* et *Cambarco*, au-dessus de *Nuestra-Senora de la Luz* (Notre-Dame de la Lumière), auprès d'une fontaine.

Enfin, une troisième au pont de *Toma*, près de la rivière *Deba*, qui prend sa source près de *Potes*.

3° *Une mine d'argent*, située au pic de *Burriel*, et trois autres à *Joleo* et *Lamason*;

4° Enfin, *une mine d'or* à *Arcedon*, dans la *Liebana;*

5° En 1626, nous trouvons citées dans les Archives de *Simancas :*

1° Une mine d'argent à *Laredo;*

2° Une mine de cuivre au *Morenillo*, près de la mer;

3° *Cinq mines de plomb* dans la vallée de *Samano :* la première, située à *Montealegre*, à l'endroit appelé *Peña Pando ;* la seconde, dans la *Sierra de la Loma*, près d'un cabaret. Une troisième à *Rasines*, quartier de la *Helguera*, et enfin les deux dernières à *Gibaja*, sur le mont *Colofrio*.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

Richesse minérale actuellement connue de la Province de Santander.

Composition géologique du sol. — L'objet principal de ce travail est de fournir des renseignements industriels; nous nous bornerons donc à indiquer la série des formations qui composent le sol de la province de *Santander;* ce sont les suivantes:

1° Terrain devonien;
2° — carbonifère;
3° — triasique;
4° — jurassique;
5° — crétacé;
6° — nummilitique;
7° — quaternaire;
8° Des roches cristallines et éruptives, parmi lesquelles nous citerons le granit, la diorite et les ophites.

La carte géologique ci-jointe montre les divisions de ces terrains telles que les a tracées don Amalio Maetre, avec quelques modifications que nous y avons introduites. Ces modifications sont les résultats de nos propres observations et de celles de M. Marcial Olavarria, à qui nous avons emprunté la situation d'une petite éruption dioritique, près de *Portolin*, dans le *Cueto de Pando.*

Cependant, nous devons dire que cette carte, même ainsi modifiée, ne présente pas encore une exactitude bien grande.

MM. Lasala, Sanchez-Blanco et Benito Arce, ingénieurs des mines, résidant dans la province de Santander, s'occupent de fournir à la Commission de la carte géologique tous les renseignements nécessaires pour tracer cette carte d'une façon définitive.

Ceci posé, nous allons étudier la richesse minérale actuellement connue.

Nous diviserons cette seconde partie de notre mémoire en deux chapitres: dans le premier nous étudierons les gîtes métalliques. Le

Digitized by Google

second sera consacré à l'examen des gîtes non métalliques, soit les gisements de sel, de lignites, de schistes et grès bitumineux, les tourbes, les eaux minérales, et, enfin, les matériaux de construction.

1° Considérations générales sur les gîtes métalliques.

Les gîtes métalliques se rencontrent dans la partie N.-O. de la province et sur presque tout le littoral; et, chose remarquable, si on en excepte les minerais de fer qui se trouvent principalement sur le littoral et à l'est de *Santander*, tous ces gîtes sont à l'ouest de la ligne ferrée qui réunit *Santander* à *Alar*.

Les formations qui les contiennent sont par ordre de richesse.

1° Le terrain crétacé; 2° le terrain carbonifère; 3° le terrain triasique; 4° le terrain jurassique.

Ces gîtes sont en général des gîtes irréguliers; cependant ils se présentent quelquefois en filons.

Si l'on veut examiner les tableaux suivants, dans lesquels nous avons indiqué les concessions de mines existantes dans la province à la date du 1er janvier 1872, on aura une idée précise de l'importance acquise par l'industrie minière dans cette province et de la nature des substances métalliques exploitées.

Le premier tableau est un résumé officiel qui n'a pas encore été publié, et dont je dois la communication à l'obligeance de MM. Lasala et Sanchez Blanco, ingénieurs de la province.

Concessions soit d'investigation, soit d'exploitation existant à la date du 1er janvier 1872.

NATURE DU MINERAI.	NOMBRE DE CONCESSIONS.	SURFACES EN MÈTRES CARRÉS.
Fer.....	63	22.993.645
Zinc.....	216	23.040.740
Plomb.....	46	4.183.739
Cuivre.....	11	1.492.713
Plomb et zinc.....	7	750.000
Antimoine.....	1	120.000
Total.....	344	53.330.837.24

Digitized by Google

Comme on le voit, à la fin de l'année 1872, il n'y a d'exploitées que les mines de zinc, de fer, de plomb et de cuivre.

Concessions exploitées en 1872.

	DÉSIGNATION.			SURFACE.	PRODUCTION officielle.	PRODUCTION réelle.
				m²	t.	t.
Dans le terrain	crétacé....	30	concessions de zinc...	3.010.887	51.766	60.000
	id.....	22	— fer....	4.649.747	29.364	40.000
	plus.....	15	dont j'ignore la surface.	.....	.....	20.000
	carbonifère.	26	concessions de zinc...	3.111.871	5.830	7.500
	triasique...	18	— zinc...	1.207.789	»	11.200
	id.....	1	— cuivre.	120.000	70	300
	Jurassique..	6	— cuivre.	808.091	2.000	2.000
	Total...	113		13.109.385.42	89.030.800	141.100

On voit par ce tableau que, dans l'état actuel, le terrain crétacé est le plus riche en minerai, et le terrain jurassique le plus pauvre. Ajoutons que le terrain carbonifère qui, au point de vue de la richesse, occupe le deuxième rang, serait beaucoup plus exploité si ces concessions n'étaient point répandues sur les sommets des Pics d'Europe, couverts de neige une partie de l'année et manquant de routes et de moyens de transports économiques.

Ces considérations générales établies, il nous reste à passer en revue chaque terrain et étudier d'une façon précise les gîtes métalliques qu'il contient. Pour chacun d'eux nous indiquerons les conditions de gisement, en insistant sur ceux qui nous sont particulièrement connus.

1° Terrain crétacé.

Nous étudierons d'abord les gîtes calaminifères.

Ils s'étendent depuis la rivière *Nansa*, à l'ouest, jusqu'à *Mercadal*, *Reocin* et *Santander*, à l'est, et on peut suivre leur trace jusqu'en *Vizcaya*.

Si l'on étudie ces gisements à partir de l'extrémité ouest, on trouve les principaux dans les localités suivantes : à la *Florida*, près de *Célis*, à *Comillas*, à *Ruiloba*, à *Ruiseñada*, *Udias*, *Toporias*, *Novales*, *Ciguenza*, *Quijas*, *Oreña*, *Reocin*, *Mercadal*, *Maliaño* ou *Santander*, et suivant don Felipe Baura, on trouve disséminés depuis *Santander* jusqu'en *Vizcaya* des gîtes calaminifères d'autant plus silicatés qu'ils se rapprochent davantage de l'extrémité Est. Nous signalerons, d'après

Digitized by Google

lui, les gisements des localités suivantes : *Monte-Cabarga*, *Ceceñas*, *la Cavada*, *Rio tuerto*, *Navajeda*, *Rasines*, *Gibaja*, *Ramales*, *la Nestosa*, *Castro-Urdiales* et *San-Nicolas*.

Gîtes calaminifères. — Tous ces gîtes sont essentiellement irréguliers et d'inclinaison variable. Ils suivent généralement la stratification du terrain. Sauf à *Udias*, où leur direction est N.-S. et l'inclinaison E., la direction générale de ces gisements est E.-N.-O.-S., avec une inclinaison N.-E. Ils se trouvent le plus souvent dans les calcaires, soit au milieu de la dolomie, soit au contact de celle-ci avec les calcaires, soit même au milieu des calcaires seuls. Mais on rencontre toujours la dolomie dans le voisinage des gîtes (les directions et inclinaisons sont toutes par rapport au N. magnétique).

Origine de ces gisements. — L'origine des mines calaminifères est évidemment thermo-électro-chimique. Les opinions, cependant, sont variées sur le mode et l'époque de formation de ces gisements ; les uns admettent la préexistence de gîtes réguliers de blende que les phénomènes thermo-chimiques auraient converti en calamine, à une époque encore indéterminée. Une seconde hypothèse, et que j'accepte très-volontiers, consiste à supposer la formation directe par action thermo-électro-chimique pendant une période plus ou moins considérable.

Des dents d'éléphants trouvées dans les mines de la vallée d'*Udias*, en 1858, et des dents de rhinocéros recueillies par moi, en 1874, dans la mine *Gandara*, arrondissement d'*Udias*, qui appartiennent au terrain miocène ou falunien, et la particularité que les dents que j'ai recueillies sont calaminisées, paraissent indiquer que la formation de ces gîtes, si elle est antérieure à l'époque miocène, s'est au moins continuée jusqu'à elle.

L'origine thermo-électro-chimique est d'ailleurs nettement accusée par l'aspect des calamines et par la présence des dolomies, dont l'aspect caverneux rappelle la formation thermo-électro-chimique dans toute sa clarté.

Allure générale des gisements. — Quoi qu'il en soit de l'origine de ces gisements, un de leurs caractères principaux est l'irrégularité : aucun d'eux n'a pu être exploité en profondeur.

On peut prendre comme type le gisement de *Comillas* des mines de la *Vega*. Cette mine, de laquelle on extrait plus de 60,000 tonnes de

Digitized by Google

calamine, ne contient plus aujourd'hui qu'un peu de blende adhérente à la salbande N. Elle est épuisée, et des travaux de recherche entrepris en profondeur et en direction ont démontré que le gîte est discontinu en direction, et qu'en profondeur il est trop pauvre pour donner lieu à une exploitation rémunératrice.

Or, les travaux en profondeur ont atteint par le moyen de la sonde 140 mètres. On a exploré en longueur environ 250 mètres.

Enfin, on a fait perpendiculairement au gîte une galerie allant du calcaire qui forme le toit de la formation dolomitrique calaminifère à celui qui en forme le mur, sans rien rencontrer d'exploitable.

L'exploitation de cette mine s'est faite dans une demi-lentille de 50 mètres de large, 100 mètres de long et 14 mètres de profondeur moyenne.

Le reste n'a presque rien produit.

La mine de *Comillas* est une mine type dans les terrains que nous examinons : nous pouvons donc affirmer d'une façon générale que les gisements caliminifères du terrain crétacé sont très-irréguliers dans leur direction et deviennent inexploitables à une profondeur très-faible.

Composition des minerais des gîtes calaminifères. — Si l'on étudie les minerais des gisements qui nous occupent, on trouve les espèces suivantes :

1° La calamine rouge ou zinc carbonaté, qui contient à l'état de pureté 72,262 pour 100 d'oxyde de zinc ;

2° La calamine blanche ou zinc hydrocarbonaté, qui contient 71,40 pour 100 d'oxyde de zinc ;

3° La calamine blanche azurée ou silicate de zinc, 68,3 pour 100 d'oxyde de zinc ;

4° Le zinc pisolitique, composé de carbonate et de silicate de zinc à des degrés différents d'hydratation, qui contient de 60 à 68 pour 100 d'oxyde de zinc ;

5° Le zinc oxydé ferrifère rouge ;

6° Le zinc oxydé manganésifère rouge. Dans ces deux dernières espèces, on peut trouver de 80 à 88 pour 100 d'oxyde de zinc ;

7° La blende ou sulfure de zinc, qui présente généralement une couleur noirâtre ou vert de bouteille foncé, et qui renferme environ 66,34 de zinc métallique.

Digitized by Google

Les variétés les plus abondantes, celles qui constituent le minerai commercial, sont le zinc carbonaté, le zinc hydrocarbonaté et le zinc silicaté.

Accidentellement, et en proportion plus ou moins considérable suivant les gîtes, on rencontre avec la calamine la galène, le carbonate et le sulfate de plomb.

Les considérations générales qui précèdent suffiront à donner une idée assez précise des caractères principaux des mines calaminifères du terrain crétacé, de leur formation, de la nature variée de leur minerai et de leur richesse; nous ajouterons maintenant quelques renseignements spéciaux, résultats de nos visites dans la plupart de ces gisements.

Les mines les plus importantes du terrain crétacé appartiennent à la Compagnie Royale Asturienne. Celles qui, au point de vue de la richesse, viennent en seconde ligne, appartiennent à la Compagnie des mines et fonderies de *Santander* et *Quiros*.

Nous insisterons surtout sur ces dernières, que nous avons plus spécialement visitées.

Quant aux autres mines de ce terrain qui sont exploitées par d'autres Compagnies, nous ne ferons que les mentionner : leur exploitation étant à peu près nulle.

Société des mines et fonderies de Santander et Quiros. — Cette Société a été fondée en 1855. En cette même année, M. Naranjo, actuellement président du conseil supérieur des mines, fit pour cette Compagnie une étude des gisements qui servit de base à sa constitution.

On pourra lire dans *la Revista Minera* de 1855, un compte rendu de cette visite, dans laquelle M. Naranjo eut le premier, je crois, l'occasion de préciser les conditions géologiques de ces gisements.

La Compagnie des mines et fonderies de Santander possède des mines dans les districts de *Comillas*, de *San-Vicente de la Barquera*, de *Torrelavega* et d'*Udias*.

Digitized by Google

Prises ensemble, les mines des trois premiers districts ont produit environ 100,000 tonnes de 1855 à 1873-74.

A lui seul le district d'*Udias* a produit environ 130,000 tonnes de calamine crue, et entre tous, pendant cette même période, ils ont produit 14,000 tonnes de blende et 1,000 à 1,500 tonnes de galène.

Aujourd'hui, l'exploitation de ces mines n'est plus poussée avec une grande vigueur, elles ne produisent guère que 9 à 10,000 tonnes de calamine crue.

De 44 mines qu'on exploitait, 12 seulement sont aujourd'hui en exploitation.

Savoir : 1 près de *Comillas*.
9 près d'*Udias*.
2 près de *San-Vicente de la Barquera*.

Malgré ce nombre restreint des mines en travail, l'exploitation a donné à cette Compagnie, pour l'année 1872-73, un bénéfice net de 392,041 fr. 55 c.

Près de *Comillas*, à la *Venta de la Vega*, la Société possède une usine autrefois considérable, aujourd'hui un peu abandonnée.

Préparation mécanique des minerais. — A la Venta de la Vega on lave et calcine les minerais des districts de *Comillas* et d'*Udias*; on y casse et trie les minerais en roche.

Les terres soumises au lavage qui contiennent environ 50 pour 100 de minerai sont débourbées et classées au moyen de trommels débourbeurs et classificateurs mus par un manége attelé d'un bœuf.

Sur des tables spéciales, on fait à la main l'opération du triage des produits classés et débourbés.

Le prix du lavage est d'environ de 17 réaux par tonne de calamine lavée, indépendamment des frais généraux et des frais d'amortissement.

Calcination des minerais. — Les minerais triés et ceux obtenus après lavage sont soumis à la calcination, qui se fait dans des fours à réverbère ou dans des fours à cuve continus, suivant que l'on opère sur des menus ou sur des minerais de grosses et moyennes dimensions.

Dans le premier cas, deux fours à réverbère traitent en 24 heures 11',500 de matière première avec une dépense de 1,000 à 1,100 kilo-

Digitized by Google

grammes de charbon, qui vaut de 100 à 104 réaux la tonne, et produisent 8 tonnes de minerai calciné.

Calculs faits, la tonne calcinée revient, dans ce cas, à 27r,81 du fait de la calcination.

Dans un four à cuve continu, on peut calciner en 24 heures 14t,285 de minerai pour obtenir 10 tonnes de matière calcinée avec une dépense de 500 à 600 kilogrammes de charbon seulement. Dans ce cas, la calcination revient à 10r,62. Ces prix de revient ne comprennent ni frais généraux ni frais d'amortissement.

Les minerais calcinés sont transportés au port de *Comillas* à raison de 3 réaux 1/2 la tonne.

L'embarquement coûte à peu près 1 réal, et le frêt, à *Anvers*, de 22 à 25 réaux.

Lavage et calcination aux mines de la Florida. — Les minerais de la *Florida* sont lavés à la mine même et calcinés à *San-Vicente de la Barquera*, d'où ils sont, comme les précédents, embarqués pour *Anvers*.

Le lavage se fait entièrement à la main, et revient à 25r,66 par tonne de calamine lavée.

La calcination se fait par les mêmes procédés qu'à la *Venta de la Vega* et coûte le même prix.

La vente des minerais se fait suivant formule. Nous nous en occuperons à la fin de ce mémoire.

Examen des mines de cette Société. — Mine de *Numa* (district de *Comillas*).

Cette mine est remarquable sous plusieurs rapports. Entièrement comprise dans le calcaire blanc caverneux, elle se compose de grandes poches verticales remplies de calamine blanche et se terminant en coin, de façon à n'être plus exploitables à une profondeur de 40 mètres.

Près de ce gîte, qui paraît d'ailleurs assez isolé, on trouve une grotte extrêmement remarquable dont l'intérieur est garni de stalactites calcaires calaminifères, formant les dessins les plus capricieux. Cette grotte, bien éclairée, présente un effet magique digne d'attirer l'attention des voyageurs.

Mine *San-Bartolomé*, quartier de *Canales* (district d'*Udias*).

Cette mine est aujourd'hui complétement épuisée.

Digitized by Google

C'est un gisement au contact de la dolomie et des calcaires.

La direction de ses travaux est sensiblement N. 25° O. magnétique, et son inclinaison est à l'est.

Elle contenait, comme minerai, de la calamine blanche mêlée de zinc pisolitique (dont je possède des échantillons très-remarquables, et entre autres des boules qui paraissent être des billes de stuc parfaitement rondes), de la galène et du carbonate de plomb.

C'est dans la mine de *San-Bartolomé* que l'on trouve des travaux romains datant de l'époque d'Antonin (an 140 de notre ère), et dont M. Naranjo a rendu compte en 1873, dans les *Annales de la Société d'Histoire naturelle.*

J'ai en ma possession un morceau de bois fossile parfaitement conservé, trouvé à une profondeur de 40 mètres dans un puits incliné. Il est d'aspect charbonneux noir mat très-dur, très-dense, très-fragile, enfin susceptible d'un fort beau poli. L'analyse qu'on en a faite y a démontré l'existence de l'oxyde de fer, du soufre et du zinc.

On a aussi trouvé dans ces travaux, qui étaient dirigés dans le but d'extraire la galène, des conches en bois destinées au transport des minerais, des lampes d'argile, des supports en bois pour ces lampes, des masses en bois et des monnaies de bronze; ces objets ont tous été recueillis par les soins de M. Thiébault, directeur de cette mine.

Mines Santa-Barbara y Juana, sises à la Raza, entre Cabezon de la Sal et la vallée d'Udias. — Les mines *Santa-Barbara* et *Juana*, qui sont dans la dolomie, sont à environ 8 kilomètres, direction S.-S.-E., de *Comillas*. Leur direction est N.-S. magnétique et le pendage E. très-variable. Elles sont exploitées par des travaux divisés en trois étages et allant à une profondeur de 50 mètres; elles ont présenté jusqu'ici une assez grande régularité relative et promettent de donner lieu à une exploitation active.

Le gîte affleure surtout le versant N. de la montagne, et les galeries qu'on y a naturellement percées, suivant la direction indiquée par ces affleurements, ont démontré l'existence des phénomènes communs à tous ces gîtes. La diminution de la puissance dans ce cas particulier à mesure qu'on avance vers le sud, ce qui est la justification de la loi de la diminution de puissance en profondeur, vu que la façon dont se présente ce gisement indique que le soulèvement de la montagne est postérieur au dépôt calaminifère.

Digitized by Google

Mine Dolorès. — La mine *Dolorès* se trouve également dans la dolomie, à l'endroit de la vallée d'*Udias*, appelé la *Gandara*.

Elle se présente sous forme de poches isolées. C'est dans l'une de ces poches qu'on a trouvé les dents de rhinocéros dont nous avons parlé plus haut.

Mines de la Florida. — Elles se trouvent dans l'arrondissement de *Celis*, dans la dolomie. Ce sont trois couches parallèles séparées par une distance de 12 mètres et d'une puissance qui varie entre 1m,50 et 2 mètres. Leur direction est E.-O. et leur inclinaison très-variable, du reste, va jusqu'à 45° N.

L'une de ces mines (la *Clara*) présente le phénomène d'une bifurcation, c'est-à-dire que la couche, d'abord presque horizontale, s'incline de plus en plus, et au point d'inflexion se divise en deux parties.

Dans la première couche, gisement qui est le plus régulier et dont on suit les affleurements sur une longueur de plus de 1,200 mètres, se trouve un filon de baryte d'une puissance variable entre 15 et 35 centimètres, mêlé de pyrites de cuivre et de fer. Il y a aussi beaucoup de galène.

La deuxième couche des mines de la *Florida*, appelée mine *Isidra*, possède une grotte remarquable, comme celle de la *Numa*, sans communication apparente avec la surface, et dans laquelle on a exploité plus de 300 tonnes de calamine mêlée d'argile. On fait en ce moment une galerie qui mettra cette grotte en communication horizontale avec la surface et servira à l'exploitation.

Nous avons de cette mine un échantillon de calamine verte et des fossiles qui se trouvent dans les calcaires supérieurs à la dolomie.

Ce sont des fossiles du terrain crétacé, étage aptien et étage de la craie.

Les minerais de la *Florida* sont envoyés à *San-Vicente de la Barquera* pour y être calcinés. L'opération se fait comme à la *Venta de la Vega*, dans deux fours à réverbère et deux fours à cuve. Les mines sont à environ 17 kilomètres de *San-Vicente*, et le transport se fait 8 kilomètres par eau et le reste par terre, à raison de 1 réal 1/2 par quintal de 46 kilogrammes.

Mines d'Oreña. — A *Oreña*, il y a deux couches de dolomie, inclinées au nord et de direction E.-O., dans lesquelles on exploite des gise-

Digitized by Google

ments assez réguliers. On y a trouvé une certaine quantité de galène. Le peu de minerai qu'on y exploite aujourd'hui est embarqué à *Comillas*.

Mines de la Compagnie royale Asturienne.

La Compagnie Royale Asturienne est aujourd'hui la Société minière qui exploite et produit la plus grande quantité de calamine. Elle possède le riche gisement de *Reocin* et ceux de la vallée d'*Udias*. Celui de *Reocin* est de beaucoup le plus important. Il se trouve dans les dolomies et le terrain crétacé, tout près du gîte de *Mercadal*, non loin de *Torrelavega*.

On y exploite de la calamine terreuse, qui perd près de 60 pour 100 au lavage. De plus, elle est recouverte de terre végétale, ce qui nécessite des déblais coûteux, mais, du reste, fort bien organisés.

Cette mine a produit déjà des quantités très-considérables de calamine. En 1862, on en avait déjà extrait 70,000 tonnes, et depuis on en a extrait annuellement au moins 30,000 tonnes. En 1872, elle a produit 42,000 tonnes.

L'installation comprend des fours de calcination, des lavoirs mécaniques parfaitement montés, et plusieurs machines à vapeur tant pour les services extérieurs que pour les services d'extraction. Les minerais sont, suivant les circonstances, chargés sur le chemin de fer à *Torrelavega* et expédiés à *Santander*, d'où ils sont embarqués et portés à destination, ou bien on les transporte à la *Requejada*, où on les embarque sur des bateaux qui jaugent jusqu'à 200 tonnes.

Mines d'Udias. — Les mines d'*Udias* sont dans la dolomie; ce sont des bourses isolées, affectant cependant la direction N.-S. de préférence; aujourd'hui, elles ne produisent guère annuellement que 1,000 ou 1,200 tonnes de calamine calcinée.

En 1872, elles ont produit 2,500 tonnes de calamine crue.

Dans la vallée d'*Udias*, la Société Royale Asturienne possède trois fours à cuve et deux fours à réverbère pour la calcination, et des appareils de lavage peu perfectionnés. Ses minerais, une fois lavés et calcinés, sont transportés à *Comillas*, puis embarqués.

Sociétés diverses. — Il nous reste encore à citer quelques autres

Digitized by Google

Sociétés peu importantes et exploitant des gisements calaminifères qui se trouvent aussi dans le terrain crétacé.

Ce sont les mines de la Société *Bastareche*, près *Rasines*, qui ont produit 2,000 tonnes, et celles de quelques particuliers, près *Rasines*, *Marina de Cudeyo* et *Novales*, qui, ensemble, ont produit environ 300 tonnes.

Outre cela, il y a un certain nombre de petites mines qui ne figurent point dans la statistique officielle, faute d'avoir fourni des renseignements, et que nous passons sous silence.

Nous terminerons cet examen des gisements calaminifères du terrain crétacé par les remarques suivantes : au-dessous des dolomies, on trouve d'abord une formation calcaire généralement stérile, et au-dessous de celle-ci, une autre qui est quelquefois métallifère ; c'est du calcaire blanc.

Au-dessus des dolomies se trouvent les formations calcaires, dont les deux premières sont généralement riches en fossiles.

Quand la calamine est dans la dolomie, elle est rouge ; au contact de la dolomie et du calcaire, elle est rouge et blanche.

Enfin, dans le calcaire, elle est blanche.

Quand la dolomie atteint de grandes puissances, elle est relativement stérile. C'est ce qui arrive aux mines *Susana*, *Suerte*, *Sofia* et autres de la vallée d'*Udias*, et à quelques autres près de *Novales*.

Quand on cube la calamine pour en calculer le poids, on compte généralement comme moyenne 1,500 kilogrammes au mètre cube pour la calamine rouge et 1,000 kilogrammes pour la calamine blanche.

La calamine rouge atteint quelquefois le poids de 2,000 kilogrammes le mètre cube en tas, et la calamine blanche descend quelquefois jusqu'à 800 kilogrammes le mètre cube.

Gisements de fer du terrain crétacé. — J'ai surtout vu ceux de *Guarnizo*, et je les considère comme des limonites ayant une origine analogue à celle de la calamine.

Le gisement fort important de *Camargo* ou *Guarnizo* se trouve au milieu des calcaires blancs, dans des alternances de marnes et argiles colorées. Il consiste en peroxydes anhydrés et hydratés et en pyrites de fer. Celles-ci se rencontrent en fragments ou en poudre.

Société Deseada. — Ce gisement est exploité à ciel ouvert par deux

Digitized by Google

sociétés : celle de *Rufino Fernandez* ou *Sociedad Paulina*, et celle de *Mac-Lennan* ou *Sociedad Deseada*.

Cette dernière, qui exploite la partie la plus régulière du gîte, l'attaque à ciel ouvert, à trois niveaux différents.

Elle n'emploie aucun moyen mécanique et a seulement quelques centaines de mètres de voie ferrée.

Elle produit actuellement 20,000 tonnes par an et pourrait produire bien davantage.

Société Paulina. — La Société *Paulina* exploite également à ciel ouvert.

Ses concessions sont plus étendues, mais plus irrégulières. Elle a installé deux machines d'épuisement et construit 3 kilomètres de chemin de fer, allant aujourd'hui de la mine à la grande route, et qu'elle continuera sans doute jusqu'à la station de Bôo.

Cette mine produit annuellement 20,000 tonnes, au lieu de 40,000 qu'elle pourrait facilement produire.

Mine de pyrite de Revilla. — Auprès de ces mines, près de *Revilla*, est une mine de pyrite de fer en exploitation, et dont les produits servent à la fabrication de l'acide sulfurique.

Mines de Maliaño. — Les mines de *Maliaño*, qui ont beaucoup produit, sont arrêtées aujourd'hui pour cause de procès.

Mines de Mioño. — Les mines de *Mioño* de M. Ibarra, de *Bilbao*, ont produit 3,000 tonnes.

Mines d'Onton. — Les mines d'*Onton* et *Samana*, appartenant aussi à M. Ibarra, de *Bilbao*, n'ont produit que 30 tonnes. Elles se trouvent aux environs de *Castro-Urdiales*, sur les confins de la *Vizcaya*.

En général, on peut dire que le fer occupe sur le littoral, depuis *Sierra Cabarga* jusqu'à *Onton*, près *Somorrostro*, une zone de 10 à 15 kilomètres de large. Cependant, entre *Santander* et *Comillas*, on a fait quelques recherches, mais elles n'ont encore donné lieu à aucune exploitation.

Les minerais du littoral sont aujourd'hui transportés par la grande route de *Santander* à *Bilbao*, et embarqués soit à *Santander*, soit sur les côtes de la *Vizcaya*.

On étudie un chemin de fer d'*Onton* à *Castro-Urdiales*, qui aura de

Digitized by Google

10 à 12 kilomètres, et passera par les mines de *Mioña*, et un autre, de 12 à 17, allant de *Sopuerta de Vizcaya* à *Castro-Urdiales*, et passant par la vallée de *Samano*.

Enfin, une troisième ligne est à l'étude, qui, partant de *Santander*, aboutirait à *Santoña*, *Castro-Urdiales*, *Bilbao* et *San-Sebastian*, où elle se relierait au chemin de fer du Nord.

Nous avons terminé de passer en revue les gisements du terrain crétacé. La calamine et le fer, sous les différents états cités plus haut, telles sont les principales matières qui en sont extraites. Inutile d'ajouter que la galène et la blende, n'étant guère que des accidents des gîtes calaminifères, ne donnent pas lieu à des exploitations spéciales.

II.— Terrain carbonifère.

1° Minerais de zinc.

Nous n'avons point visité les gisements de ces minerais; la majeure partie de ce qui suit est empruntée au rapport de M. Philippe Bauza, publié par la *Revista Minera*, en 1860, complété par les renseignements que j'ai recueillis en 1874, auprès de M. Lasala, ingénieur en chef des mines de la Province.

Trois Sociétés importantes exploitent ces gisements : la *Providence*, la *Esperanza* et la *Vieille-Montagne*.

La Société la *Providence*, dont le point central d'action est situé à *Andara*, exploite à une hauteur d'environ 1,800 mètres, dans les Pics d'Europe, divers gisements de calamine, situés dans le calcaire carbonifère caractérisé par des encrinites. Le calcaire est bouleversé par des soulèvements dus probablement aux diorites qui affleurent sur la route d'*Espinama* à *Potes*, et dans la vallée d'*Aliva*, qui divise en deux groupes les Pics d'Europe.

Il y a, sur ces Pics d'Europe et dans la direction E.-O., deux fentes principales remplies de calamine et de plomb.

A l'une des extrémités de la première, presque au point le plus élevé de la colline, se trouve le *Atrevimiento*.

Au milieu, et dans le *thalweg* qui sépare les deux collines, on trouve la *Enclavada* et *Nosotros*, la *Abandonada* et la *Ultima*.

Digitized by Google

La seconde fente, parallèle à celle-ci, contient les mines *Esmeralda* et *Inagotable*.

D'une façon générale, on peut dire que les gisements du terrain carbonifère sont plus réguliers (quoique irréguliers dans leur inclinaison et leur continuité), mais moins puissants que ceux du terrain crétacé.

La puissance des gisements dont nous nous occupons actuellement dépasse rarement une épaisseur de 4 à 5 mètres.

Dans ces gisements, dont l'exploitation se fait encore à ciel ouvert, la calamine se trouve fréquemment associée à la blende, à la galène et au carbonate de plomb, quelquefois au cinabre.

Dans la mine *San-Carlos*, par exemple, au centre du gîte, existe une veine de cinabre d'une épaisseur de 2 centimètres.

Les mines des Pics d'Europe, qui ne s'exploitent guère que l'été, produisent généralement une calamine blanche compacte, d'aspect calcaire, ou bien noirâtre et cristalline, et souvent rougie au contact du cinabre: elle est généralement riche.

Leur situation élevée a nécessité la construction d'une route de 19 kilomètres, avec des rampes qui atteignent de 8 à 10 pour 100, partant de la *Hermida* pour arriver à *Andara*.

Par cette route, les minerais sont transportés à *Bejes*, où ils subissent une calcination à l'air libre. Une fois calcinés, on les conduit à *Panes*, ou bien on leur fait descendre la rivière *Deva* jusqu'à *Tinamayor*, où ils sont embarqués pour l'étranger.

Ces mines ont produit en 1872 avec quelques autres mines appartenant à la même Compagnie 5,077 tonnes de calamine crue.

Société Esperanza. — La Société la Esperanza exploite quelques mines dans le voisinage des précédentes. Nous n'avons sur les résultats obtenus par cette Compagnie en 1872, que des renseignements tout à fait inexacts; mais en 1867 elle a produit 1805 tonnes.

Les minerais de la Société la Esperanza sont transportés sur des charrettes par le chemin de *Tresvisos*, au pont d'*Urdon*, où la Compagnie a fait construire un four à cuve pour les calciner, de là on les transporte à *Panes*, pour les embarquer à *Tina-Mayor*.

Société Rivas et Trio. —La Société *Rivas* et *Trio* possédait en 1867 quelques mines près de *Tresviso* qui, cette année-là, produisirent 600 tonnes environ.

Digitized by Google

La Vieille-Montagne. — Les mines exploitées par la Société de la Vieille-Montagne, sont dans l'arrondissement de *Camaleño* : elles ont produit en 1872 environ 600 tonnes, chiffre de la statistique officielle.

Nous citerons enfin, avant de clore l'examen des gisements du terrain carbonifère, les mines de M. Louis Ratier, situées dans les grés et schistes carbonifères qui, en 1872, ont produit seulement 7 tonnes 1/2.

Gisement de cuivre. — Dans les monts *Liebana*, près du village de *los Llanos*, sur la montagne *Rio-Jano*, il existe un filon de cuivre qui a une inclinaison S. 15° O., avec un direction O. 15° N. à E. 15° S.

Ce filon est rempli de quartz, de fer et de cuivre. La richesse en cuivre varie de 15 à 20 pour 100. On avait commencé à l'exploiter en 1853; il est abandonné aujourd'hui.

III. — Terrain triasique.

Mines de Mercadal près de Torrelavega. — Nous avons visité, à plusieurs reprises, les mines de *Mercadal*, les plus importantes que nous ayons à examiner dans cette nouvelle série, et qui se trouvent à la limite du *Trias* et du *Lias*.

En 1861, nous y avons installé, comme ingénieur-directeur, notre camarade et ami Charles Vial. Lui ayant demandé dernièrement quelques renseignements sur l'exploitation qu'il dirige avec tant d'intelligence, il nous a remis des notes tellement intéressantes que, quoique leur publication intégrale dépasse de beaucoup les limites de notre programme, nous n'avons pu résister au plaisir de les publier presque sans coupures, persuadé qu'on nous saura gré d'avoir ainsi vulgarisé des renseignements pratiques, précieux, sur l'exploitation des calamines.

1° Situation de la mine et extraction. — Les concessions minières de *Mercadal* s'étendant sur une superficie de 180 hectares, traversée en tous sens et à des niveaux différents, par 1,200 mètres de galeries qui servent à reconnaître le gîte et à diriger les travaux extérieurs. Sur une longueur de 550 mètres, ces galeries sont desservies par une voie ferrée (fers plats, voie 60 centimètres de large) sur laquelle roulent 10 wagonnets et plateformes en bois d'une capacité d'un tiers de mètre cube environ.

Digitized by Google

Les travaux d'extraction proprement dits, se font à ciel ouvert. A cet effet, la montagne est divisée en quatre étages espacés de 8 à 12 mètres, à chacun desquels on a établi des chantiers d'exploitation qui se prolongent jusqu'à une vallée profonde dans laquelle on rejette les parties stériles.

Les différents niveaux d'exploitation communiquent au moyen de longs couloirs en planches par lesquels les produits extraits arrivent au niveau inférieur pour de là être conduits aux fours de calcination ou aux ateliers de préparation mécanique.

L'ensemble des chantiers est desservi par 5,400 mètres de voie ferrée (largeur 1 mètre) sur laquelle circulent 81 wagons et plateformes en bois de 80/100e de mètre cube de capacité. Le transport est fait par des bœufs traînant chacun de 2 à 4 wagons, suivant le cas et les besoins du chantier.

La disposition du terrain en montagne et la création de quatre niveaux, facilitent énormément l'exploitation en même temps qu'ils réduisent le prix des déblais si considérables à *Mercadal*.

Tous les déblais ou produits descendent en effet, par leur propre poids sans autre manœuvre que le renversement des wagons qui, à cet effet, basculent sur un axe.

On procède aux déblais de la façon suivante : après avoir encaissé une partie du wagon dans la base du déblai à enlever, on creuse un couloir suivant la direction du talus; puis des ouvriers placés au sommet de ce talus enlèvent les terres et les font glisser par le couloir jusque dans le wagon.

Un équipage de quatre hommes, deux sur la crête, deux en bas, suffit pour déblayer un mètre cube en moins de trois minutes.

En dehors du ciel ouvert quelques rares travaux se font dans la roche à la poursuite de veines métallifères. Ce minerai de contact est généralement un mélange de blende et de galène que l'on traite aux ateliers de préparation mécanique après un triage à la main dans la mine même.

Un chef de travaux et trois surveillants conduisent les travaux.

Le prix de la journée moyenne ne dépasse pas 7 réaux, et se décomposent comme suit :

Enfants occupés aux divers transports de	3r 1/2 à 5r 1/2
Manœuvres de.	6r à 8r
Mineurs.	8r à 10r
Ouvriers maçons.	11r à 12r

Digitized by Google

2° Préparation mécanique des minerais. — Les ateliers de la préparation mécanique ont été installés sur un terrain incliné, de telle sorte que leurs différentes parties se trouvant en escalier, chaque appareil déverse directement ses produits dans l'appareil suivant sans main-d'œuvre.

Traitement des minerais mélangés. — La quantité de minerai traité par jour, varie de 5 à 10 tonnes suivant que ce minerai est plus ou moins mélangé de blende. Une machine demi-fixe d'une force nominale de 8 chevaux et à foyer amovible, donne le mouvement à tous les appareils mécaniques et consomme journellement 250 kilogrammes de charbon.

D'une manière générale, les ateliers de préparation mécanique comprennent, ainsi que l'indique le plan joint à notre mémoire, des broyeurs pour gros et pour fin, des trommels distributeurs et classeurs, des cribles à piston, et des tables dormantes placées suivant les besoins.

Avant de subir un premier broyage qui le réduit à la grosseur d'une noix, le minerai est concassé et trié par des enfants dont la journée varie de 4 à 6 réaux.

Le trommel distributeur dans lequel se rend le minerai broyé, se compose de deux tôles concentriques percées de trous de 80 millimètres et de 40 millimètres de diamètre; de là il résulte trois classes de minerais.

1° Les morceaux supérieurs à 30 millimètres, qui tombent sur une table où ils sont à nouveau triés par une femme;

2° Le minerai de grosseur inférieure à 30 millimètres, qui se rend dans un trommel classeur pour gros;

3° Enfin le minerai qui a passé à travers la seconde tôle et qui est conduit dans le trommel classeur pour fin.

Les trommels classeurs, dont la surveillance est confiée à des enfants, sont des cylindres en tôle divisés dans leur longueur en 3 parties et percés sur chacune de ces divisions de trous dont le diamètre varie de 1 millimètre à 3 1/2 pour les classeurs pour fin, et de 5 mill. 1/2 à 19 millimètres pour les classeurs de gros. Pour chaque trommel, un tube percé de trous envoie de l'eau normalement à la surface du cylindre.

A chaque division des classeurs, correspond un crible à piston dans lequel le minerai se classe par ordre de densité.

Digitized by Google

Du passage sur ces cribles qui sont conduits par des femmes, il résulte une classification du minerai en trois parties.

La couche supérieure, la plus légère, ne renferme que calamine ou blende, suivant le cas;

La couche inférieure formée uniquement de galène;

Enfin, une couche intermédiaire, mélange de diverses matières, ou minerai mixte.

Cette couche intermédiaire est jointe au minerai mixte sortant de la table des classifications à la main et le tout est réduit en farine au moyen de broyeurs pour fin.

A *Mercadal*, la moitié en moyenne du minerai traité doit être soumise à cette seconde opération de broyage pour fin, qui nécessite comme la première, trois ouvriers.

Le produit réduit en farine est jeté par un enfant dans un trommel pour schlammes, dont la tôle percée de trous de 1 millimètre retient encore quelques parcelles qu'on repasse au trommel classeur pour fin. Ce qui passe à travers les trous de 1 millimètre tombe dans le crible continu à trois pistons. Là, la matière fortement délayée dans l'eau, subit une division en trois parties.

La première caisse contient de la galène pure; la caisse intermédiaire, du minerai avec 7 à 10 pour 100 de galène, et enfin la caisse extrême de la calamine ou de la blende pure.

La galène de la première division est promptement débourbée par une ouvrière sur une table dormante, et en même temps le produit mélangé de la seconde caisse est soumis à une préparation complète sur deux à trois autres tables dormantes.

Enfin il reste un dernier appareil, le classeur-laveur de schlammes qui a pour but de retenir les parcelles de minerai emportées par les eaux des trommels classeurs. Les eaux sales qui traversent le classeur-laveur sont soumises, dans chacune des divisions pyramidales qui les composent, à une forte pression (4 mètres).

Le minerai déposé dans chaque compartiment est encore à l'état de mélange, et nécessite une nouvelle séparation, faites par des femmes sur des tables dormantes inférieures.

Enfin les eaux passent dans un labyrinthe où elles déposent encore quelques parcelles de minerai.

Les analyses ont indiqué l'excellent résultat obtenu par la séparation mécanique. En effet, pendant que la galène donnait 74 pour 100

Digitized by Google

de plomb à la vente, les calamines accusaient à peine 3 pour 100 de plomb.

Lavage des menuailles de mine. — On peut laver une quantité de menuailles très-variable, suivant leur teneur en minerai et la nature de la terre qui les accompagne : 5 tonnes est la moyenne journalière.

Avant de subir, dans le trommel débourbeur, l'opération du débourbage, les menuailles sont d'abord délayées pour faciliter leur descente, puis jetées sur une grille qui retient les morceaux de plus de 6 centimètres, dont la chute détériorerait promptement les appareils.

Ce minerai débourbé passe aux trommels distributeurs et classeurs, où il est lavé à nouveau, puis aux cribles à piston, si la présence de la galène rend nécessaire cette opération.

Le classeur-laveur de schlammes retient le minerai qu'entraîne l'eau sale, qui est lavé sur des tables dormantes, ainsi que les autres dépôts des canaux et du labyrinthe qui en valent la peine.

Les ouvriers employés au lavage des menuailles, pour la plupart femmes ou enfants, sont répartis de la manière suivante :

Chargeurs et brouetteurs de.	4 à 5 ouvriers.
Service du débourbeur.	2 —
Trommels distributeur et classeur. . . .	3 à 4 —
Table de classification à la main. . . .	1 femme.
Laveur, canaux, labyrinthe de.	3 à 4 ouvriers.
Tables dormantes de..	3 à 4 femmes et enfants.
Criblage et triage à la main de.	6 à 8 femmes.

Les calamines provenant du lavage donnent, après calcination, une teneur moyenne en zinc de 50 pour 100.

Pour terminer ce qui a rapport à la préparation mécanique, le tableau suivant indique le travail possible de chaque appareil, la force et l'eau dépensée et la vitesse de sa marche.

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

Digitized by Google

DÉSIGNATION.	Vitesse par minute en nombres de tour ou coups de piston	Force dépensée en chevaux-vapeur.	Dépense d'eau en litres par minute.	Quantité de minerai qui peut être traitée par jour, en tonnes.
	tours.	chevaux.	litres.	tonnes.
Cylindres broyeurs pour le gros.....	60	4	»	20
Petits broyeurs pour le fin.....	45	2	»	12
Trommel débourbeur.....	10 1/2	1.50	300	50
Trommel distributeur.....	8	0.25	60	30
3 trommels classeurs.....	9 1/2	0.75	90	30
Trommel classeur de schlammes...	25	0.15	60	6
6 cribles à piston, en tôle, pour fin et menu.	70 coups.	0.50	30	variable.
4 cribles à piston, en bois pour gros.....	80	0.50	20	»
Crible continu à 3 pistons.....	180	0.35	50	»
Classeur-laveur de schlammes.....	»	»	200	»
8 tables dormantes.....	»	»	160	»
	»	10.00	970	»

Calcination des calamines. — Les calamines de *Mercadal* contiennent toujours un peu de silicate de zinc allié au carbonate dans la proportion maximum de 15 pour 100. Elles contiennent, en outre, de 3 à 6 pour 100 de carbonate de chaux. On y trouve de plus 8 ou 12 pour 100 d'oxyde de fer, suivant qu'il s'agit de calamines en roche ou de minerai de lavage.

Enfin, ces derniers renferment aussi un peu de sable laissé par les terres, et que n'ont pas emporté les eaux de lavage.

Il ne reste donc plus que 70 à 75 pour 100 de carbonate de zinc, qui subit par la calcination une perte de 23 à 30 pour 100.

1° Calcination au four a cuve.

On calcine dans le four à cuve la calamine en roche venant directement des chantiers d'exploitation, et celle qui provient de la préparation mécanique dont les morceaux dépassent 15 millimètres de côté en dimension.

Le four à cuve, comme l'indique la planche 93, figure 4, est une pyramide quadrangulaire tronquée en pierre de taille, ayant à l'intérieur la forme d'un ovoïde de révolution, garnie d'une chemise en briques ordinaires. Quatre petites ouvertures au bas permettent la sortie du

Digitized by Google

minerai calciné, qui glisse facilement, grâce à la disposition inclinée des faces d'une petite pyramide disposée au fond du four.

La marche du four à cuve est celle d'un four à chaux, c'est-à-dire que la calamine et le charbon y sont chargés par couches alternatives.

En bonne allure, le minerai doit être complétement froid à la sortie, et au gueulard on ne doit avoir ni feu ni flammes. La calamine séjourne de 5 à 6 jours dans le four avant d'être complétement calcinée.

La production journalière est de 8 à 10 tonnes pour une dépense de 500 à 600 kilogrammes de houille menue.

Un calcinateur gagnant 9 réaux et un aide en gagnant 8 suffisent pour diriger la calcination et le service du four.

2° Calcination au four a réverbère.

Le menu qui résulte du lavage est égoutté, puis séché sur les plaques de séchage disposées au-dessus du four, puis enfin calciné dans le four à réverbère.

M. Charles Vial a apporté plusieurs modifications aux fours à réverbère généralement en usage : au four à double sole superposée, il a substitué le four à cuvette, représenté (Pl. 93, fig. 3).

Dans ce four, la sole étant toujours couverte d'une couche de minerai, on réalise une économie notable en remplaçant la brique réfractaire par la brique ordinaire choisie et placée de champ. (Depuis 1865 que marchent ces fours, la sole n'a point été refaite.)

Enfin, les montants en fonte encastrés dans les massifs des fondations ont permis de supprimer le double tirant indispensable dans le cas d'armatures en fer.

Marche de l'opération. — Le minerai lavé et égoutté est placé sur les plaques de séchage, près de la cheminée d'abord, puis successivement rapproché de l'ouverture par laquelle on l'introduit dans le four. Le séchage dure environ 4 heures.

Une fois dans le four, le minerai est sans cesse rapproché de l'autel et remué de façon que toutes les parties soient directement léchées par la flamme du foyer.

La calcination dure de 18 à 20 heures, pendant lesquelles la température est constamment croissante.

Toutes les deux heures à peu près, on retire du four les 500 ou

Digitized by Google

600 kilogrammes qui sont près du foyer, et on opère un chargement équivalent.

La production journalière est de 10 tonnes par four double pour une consommation moyenne de 1,600 kilogrammes de charbon gros.

La conduite de chaque four exige le service d'un calaiseur à 9 réaux 1/2 de journée, de son aide à 8 réaux 1/2, et d'un enfant à 5 réaux chargé du pelletage et du mouvement du minerai dans la double cuvette.

Le minerai est considéré comme bien calciné quand, aux essais de laboratoire, il donne encore une perte par calcination de 1 à 2 pour 100. Au-dessous de 1 pour 100, il y aurait à craindre une perte de zinc par volatilisation.

Comme compléments des détails qui précèdent, nous présenterons les analyses des calamines calcinées livrées au commerce.

Les chiffres consignés dans le tableau ci-après proviennent des analyses des 43 chargements (environ 5,300 tonnes) expédiés dans les deux dernières années, 1872 et 1873.

DÉSIGNATION.	CALAMINE riche.	CALAMINE de lavage.	MOYENNE.	LIMITES extrêmes.
Perte par calcination.....	1.00	1.80	1.60	de 0.60 à 3.50
Silice.....	10.20	15.60	13.45	9.60 19.00
Plomb.....	2.00	1.00	0.90	traces 2.10
Oxyde de fer.....	10.50	15.60	12.52	8.00 16.10
Chaux carbonatée.....	2.00	3.20	2.27	0.20 0.40
Oxyde de cuivre et manganèse.	0.50	0.50	0.52	traces 1.00
Zinc.....	59.00	50.20	53.00	48.00 61.00
Oxygène.....	14.70	12.50	»	»

Nous aurions pu ajouter d'intéressants tableaux relatifs au prix de revient de chaque service et de chaque opération, que nous devons à M. Vial, mais la peur d'abuser de renseignements confidentiels et de donner trop d'extension à ce chapitre nous en empêche.

Nous dirons seulement que les mines de *Mercadal* ont produit, de 1868 à 1872 inclusivement, environ 11,400 tonnes de calamine calcinée, et que le prix de revient total rendu à *Anvers*, moins l'intérêt du capital et certains frais généraux, oscille aux environs de 434 réaux la tonne.

Ces mines sont déjà assez épuisées, et le seront probablement tout à fait à une époque peu éloignée.

Autres mines du trias.—Il y a dans le même terrain, près de *Peñar-*

Digitized by Google

rubia, au contact du calcaire carbonifère et du trias, un autre gisement qui appartient à Luis Ratier et Compagnie, qui n'a guère produit que 1,000 tonnes.

Il y a, enfin, d'autres gisements dans les trias qui figurent sur la carte, mais aujourd'hui inexploités.

Gisements de cuivre. — Il n'y a aujourd'hui qu'un gisement de cuivre en exploitation à *Barcena de Pié de Concha*. Cette mine, qu'on appelle *La que lo Abarca*, a produit, en 1872, 70 tonnes de minerai. Elle appartient à la Société *Union Campurriana*.

Dans le voisinage de *Barcena de Pié de Concha*, au bord de la rivière *Besaya*, il y a aussi deux filons de quartz de direction N. 35° O. et inclinés de 80° à l'est; ils appartiennent à la mine la *Puerto-Rico*, et contiennent du cuivre panaché et de la pyrite de cuivre; ils ne sont pas exploités.

Gisements de fer. — Nous terminerons l'examen des terrains triasiques en signalant un gîte de fer manganésifère très-important que l'on trouve dans l'arrondissement de *Torrelavega*, au contact du trias et du terrain jurassique.

C'est un dépôt de peroxyde de fer hydraté, composé en grande partie d'hématite brune manganésifère. Il rend de 59 à 62 pour 100 d'un fer contenant à peu près 5 pour 100 de manganèse. Il a été étudié par l'ingénieur en chef du district, M. Lasala, qui a bien voulu me communiquer ses études.

Situé à un demi-kilomètre du village *La Mata*, 9 kilomètres de la station de *Las Caldas*, 4 kilomètres de la station de *Los Corrales*, ce gisement n'est point encore complétement déterminé; des sondages de 11 mètres de profondeur, pratiqués sur environ 1/4 d'hectare, après avoir traversé 4 ou 5 mètres de terrain mort, ont tous pénétré dans le minerai sans jamais atteindre le sol sur lequel il repose. La puissance du gîte serait donc au moins sur toute l'étendue du terrain qui a été sondé, supérieur à 6 mètres ou 7 mètres; le minerai est homogène, compact, pur et d'une texture plus ou moins concrétionnée. Son poids spécifique est 3.

Ajoutons que ce gîte paraît, par sa puissance et la qualité du minerai qu'il fournit, mériter des études et une reconnaissance plus complètes.

Digitized by Google

Fer de Portolin. — Il y a aussi du fer dans le *Cueto de Pando*, près de *Portolin*, au contact des diorites et du trias; ce sont des gisements insignifiants d'hémalites brunes; il y en a aussi à 10 kilomètres au nord des mines de *Soto*.

IV. — Terrain jurassique.

Gisements de cinabre. — Il y en a un dans l'arrondissement de *Campo de Suro :* le cinabre se présente associé au quartz et au carbonate de chaux cristallin. Ce gisement se trouve sur la rive du ruisseau *Rucebas*, près de la *Peña del Cuervo*, au sud-ouest des mines de *Soto*. Il consiste en filons d'une puissance de 0,03 qui coupent la stratification du trias dans la direction N.-S.

Mines de cuivre. — Les mines de cuivre de *Soto*, dans l'arrondissement de *Campo de Suro*, appartenant à la Société *Union Campurriana*.

Elles ont produit, en 1872, environ 2,000 tonnes de minerai. On a reconnu aujourd'hui 3 filons principaux parallèles, inclinés au sud de 80 à 85°, presque verticaux, de direction E. 25° S. à O. 25° N.-O.-E.

Ces filons, dont la puissance est très-variable, coupent la stratification du terrain. Leur minerai, compris entre des salbandes argileuses et colorées, est de la pyrite de cuivre mélangée d'une gangue composée de quartz et de chaux spathique.

Le rendement moyen est de 11 pour 100. Cette mine est exploitée depuis 1857, et vend ses minerais en Angleterre.

NOTES ADDITIONNELLES AUX GÎTES MÉTALLIFÈRES.

Parmi les gisements métallifères des terrains que nous avons examinés, nous n'avons pas parlé de minerais de plomb.

Plomb. — La raison en est que cette matière n'est exploitée qu'acci-

Digitized by Google

dentellement par les Compagnies qui exploitent les gisements de calamine, avec laquelle elle se trouve associée, ainsi que la blende.

Les quantités exploitées par les diverses Sociétés sont indiquées par les chiffres suivants :

PRODUCTION DES MINERAIS DE PLOMB EN 1872.

	tonnes.
Compagnie royale Asturienne.	150
Société *Fenicia*.	80
Société des mines et fonderies de *Santander* et *Quiros*. . .	270
Société de la *Providence* (des mines de *Andara* et *Aliva*). ..	100
La société *Esperanza* (Andara).	50
La Vieille-Montagne.	10
Société *Bastarrèche* à *Racines*.	150

Ces chiffres sont officiels, et par conséquent accusent des résultats inférieurs aux résultats réels.

Enfin, la Société des mines et fonderies de *Santander* et *Quiros* possédait, à *Puente Viesgo*, deux mines de plomb, qui, en 1861, produisaient, selon le témoignage de Felipe Bauza, 60 tonnes annuellement.

Forges catalanes. — Avant de terminer cette étude des gisements métallifères, nous présenterons une statistique des forges catalanes.

Le tableau qui suit donne le nom de tous les endroits où il s'en trouvait en 1840. Il indique donc des localités voisines des mines de fer et dotées de cours d'eau.

En 1863, il n'y en avait plus que 17 en activité dans les environs de *Castro-Urdiales*, *Ramales*, *Reinosa* et *San-Vicente*.

En 1871, trois seulement étaient en activité avec le haut fourneau de la *Merced*, qui produisait cette année 1,250 tonnes de fonte, traitée à *Baracaldo*.

L'année suivante, 1872, les forges catalanes ne produisaient plus rien, et le haut fourneau de la *Merced* produisait 1,500 tonnes.

Aujourd'hui les forges catalanes ont complétement disparu.

Les minerais de fer sont exportés à l'étranger, et alimentent les forges des *Asturies* et de la *Vizcaya*.

Digitized by Google

Forges Catalanes existantes en 1840.

VILLAGES OU EXISTENT DES FORGES.	ARRONDISSEMENTS.
Bustasur.	Reinosa.
Orno.	
Pesquera.	
Santiurde.	
Helguera.	Torrelavega.
Valdeiguña.	
San Felices.	
Viernoles.	
Cades.	San Vicente de la Barquera.
Roid.	
Cosio.	
San Mames.	Laredo.
Ampuero.	
San Pantaleon.	
Arenal de Guriezo.	Castro-Urdiales.
Iseca de Guriezo.	
Villaverde.	
Samano.	
Id.	
Ottañez.	
Id.	
Id.	
Id.	
Aguera de Trucios.	
Id.	
Santullan.	
Guriezo.	
Ramales.	Ramales.
Id.	
Gibaja.	
Cereceda.	
Soba.	
La Revilla.	
Cisterna.	

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Des gisements non métalliques.

Dans ce troisième chapitre nous passerons en revue les gisements non métallifères appartenant aux différents terrains que nous avons considérés jusqu'ici.

Ce sont les *gisements de sel, de lignite, de schistes et grès bitumineux, les tourbes, les eaux minérales et les matériaux de construction* (Pl. 94).

Gisements de sel.

On rencontre, dans le terrain triasique, trois gisements de sel, situés respectivement à *Cabezon de la Sal*, à *Treceño* et à *Cabiedes*.

Les deux premiers consistent en puits d'eau salée dont l'eau marque 24° à l'aréomètre Beaumé.

Le troisième gisement est un banc de sel trouvé à une profondeur de 11 mètres, et présentant la forme d'un coin dirigé du côté de l'ouest.

Cette masse saline, située à moins de 7 kilomètres au S.-O. de *Comillas* et à moins de 10 kilomètres au S.-E. de *San-Vicente de la Barquera*, n'est pas encore complétement déterminée.

On a percé des puits qui ont déjà traversé 14 mètres de son épaisseur sans arriver à la traverser de part en part.

Le sel de cette mine, que nous avons vu, est assez pur, mais souillé par des argiles noires. Son propriétaire construit une route dans le but de transporter ses produits à *San-Vicente*.

L'importance de ce gisement semble être une preuve de l'importance des gisements de *Cabezon* et *Treceño*, qui doivent être identiques, et qui, par conséquent, pourraient donner lieu à une exploitation beaucoup plus considérable. L'exploitation actuelle ne fournit en effet, pour *Treceño* et *Cabezon* réunis, que 500 tonnes de sel par an.

Gisement de lignite.

Il n'y a dans la province de *Santander* qu'un seul dépôt de lignite connu : c'est celui qui est exploité par la Société la *Luisiana*.

Nous empruntons les détails qui suivent à un article que l'ingénieur

Digitized by Google

de ces mines, don Martin de Arce y Villegas, a publié dans la *Revista Minera*.

Cette mine est située à *las Rosas*, à 1 lieue 1/2 à l'est de *Reinosa*, au confluent du *Vilga* et de l'*Ébro*.

Elle fut concédée, le 29 mars 1791, à l'officier de marine don Luis de Collantes y Fonega, qui la découvrit.

Après diverses tentatives infructueuses d'exploitation, ces mines furent abandonnées et concédées à nouveau, en 1838, à don Antonio Collantes et à ses frères, qui recommencèrent l'exploitation en 1841.

Deux ans après, les lignites extraits étaient employés à la fabrique de papier de *Burgos*, et trouvaient, dès 1844, une application beaucoup plus importante dans la création de la grande fabrique de verre à vitre, globes et bouteilles, connue sous le nom de la *Luisiana*.

Dès ce moment, la *Luisiana*, qui était alimentée de sulfate de soude par l'usine *del Cerezo*, appartenant à la même Compagnie, eut une grande prospérité, dont elle jouit encore.

Les lignites de cette mine se trouvent dans le terrain crétacé inférieur, formation des sables verts.

La direction de leur couche est sensiblement E. 28° S., avec une inclinaison N. 28° à 30° E.

Si nous faisons une coupe de ce terrain, nous y trouverons les couches suivantes, en commençant par les plus modernes.

COUCHE A CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE.

Très-pur et propre à la fabrication du verre. On attribue même à ce calcaire la propriété de fournir un verre à l'épreuve des alternatives de haute et basse température.

La puissance de cette couche est de plus de 400 mètres.

GRÈS.

Les grès ont une couleur jaune rougeâtre plus ou moins intense.

Leur dureté est essentiellement variable, et, à *Reinosa*, ils s'emploient comme pierre de construction.

Ce sont les érosions de ces grès qui ont accumulé, sur toute l'étendue de la *Vilga*, ces grands dépôts sablonneux qui servent de base à la fabrication du verre à *las Rozas*, dont ils ne sont séparés que par une distance de 1 à 3 lieues.

Digitized by Google

CALCAIRE A FOSSILES.

Il se présente entre deux couches de grès d'une grande puissance et n'a qu'une épaisseur de 4 mètres 1/2. On y rencontre les fossiles suivants : le *catilus cuvieri*, les *terebratulus cornées Sow*, et parmi les *céphalopodes*, les *turrilites costatus auterum*, et les *belemnites mucranatus Sow.*

ARGILES SCHISTEUSES, CHARBON ET ARGILE PLASTIQUE.

L'argile schisteuse sert de lit au charbon. Cette couche de charbon a une épaisseur de $2^{m},20$, et présente une direction de S. 28° O. et une inclinaison de 30° au N. 28° E. Ce combustible brûle à l'air libre, donnant d'abord une flamme abondante, puis dégage une grande quantité de fumée noire ; il donne 10 pour 100 de cendres et 36 pour 100 d'un coke excessivement léger, boursoufflé, présentant l'aspect de scories. L'argile plastique, sur laquelle repose cette couche de lignites, est sensiblement réfractaire.

GRÈS.

Ils présentent une épaisseur de 25 mètres, ont un aspect un peu plus blanc que les précédents, et sont pénétrés d'une assez forte proportion de pyrite de fer.

CALCAIRE A FOSSILES.

(Identique à celui que nous avons décrit plus haut.)

Nombre de couches de charbon.—S'il est vrai qu'on n'exploite aujourd'hui qu'une couche de charbon, il n'en existe pas moins deux parfaitement reconnues, et on a même des raisons sérieuses pour admettre l'existence d'une troisième couche.

Jusqu'en 1852, on a extrait de la couche en exploitation 32,800 tonnes de lignite, employées en majeure partie dans la verrerie de la *Luisiana.*

Ces gisements continuent à être exploités, et les quantités de lignite qu'ils fournissent figurent dans le résumé statistique, à la fin de ce travail.

GISEMENTS DE SCHISTES ET GRÈS BITUMINEUX.

Suivant M. Cirilo Tornos, ingénieur distingué des mines, dont nous avons à regretter la perte, il existe une immense couche de

Digitized by Google

schistes bitumineux d'une puissance moyenne de 10 mètres, se dirigeant de l'est à l'ouest, avec pendage sud, à *Cuchia* et autres points de la côte, et pendage nord à *Mazcuerras*, *Coicillos*, *Viernoles* et *Boo*.

Complétement à découvert sur une longueur de 35 kilomètres de l'est à l'ouest de la baie de *Santander* à *Mazcuerras*, et sur une longueur de 10 kilomètres du nord au sud (de Viernoles à Cuchia).

Ces schistes, d'après des expériences assez sommaires de M. Fornos, pourraient fournir de 6 à 8 pour 100 d'huile brute.

Nous avons vu ces schistes à *Parbayon* (Barrio de Cranca), et les avons trouvés fort inégalement riches en matières bitumineuses.

Voici sur eux des renseignements que nous devons à l'obligeance de M. Gargollo, de *Comillas*.

Ces gisements fournissent : 1° des schistes lourds mêlés de parties quartzeuses, et 2° des schistes mous, gras au toucher, se détachant par lames. Des essais faits à Paris par MM. Arcet et Compagnie sur un échantillon moyen de ces deux qualités, dont la densité était presque double de la densité des schistes bitumineux ordinaires, ce qui indique qu'une partie des schistes soumis à l'essai en auraient dû être éliminés pour stériles (ce sont les schistes quartzeux, durs et lourds) ont donné les résultats suivants :

200 kilogrammes de ce mélange, après 12 heures de distillation, ont produit 18 kilogrammes d'huile, et après décantation on a obtenu 10 kilogrammes d'huile pesant 925° au densimètre.

Un second essai fait sur la seconde qualité seule, les schistes mous, a fourni 12 pour 100 d'huile marquant 925° au densimètre. Il y a donc lieu de séparer les parties dures qui sont improductives.

Les schistes d'*Autun* rendent environ 4.50 pour 100, et le prix de revient de l'huile brute s'établit comme l'indique le tableau suivant :

Digitized by Google

L'USINE EST SUPPOSÉE TRAITER 400 hectolitres de schiste.	CORNUES FIXES.			CORNUES TOURNANTES.			CORNUES COULANTES.		
	QUANTITÉ.	PRIX.	TOTAUX.	QUANTITÉ.	PRIX.	TOTAUX.	QUANTITÉ.	PRIX.	TOTAUX.
		fr. c.	fr. c.		fr. c.	fr. c.		fr. c.	fr. c.
Schiste concassé rendu à l'usine.	400	0 40	160 »	400	0 40	160 »	400	0 40	160 »
Nombre de cornues nécessaires.	57	» »	» »	21	» »	» »	24	» »	» »
Consommation de houille (hectolitres).	99	1 50	148 »	105	1 50	157 50	56	1 50	84 »
Journées d'ouvriers.	22	2 50	55 »	34	2 50	85 »	18	2 50	45 »
Force motrice (6 chevaux)	»	» »	» »	6 chevaux.	4 »	24 »	»	» »	» »
Capital pour l'usine.	85.000	» »	» »	82.000	» »	» »	44.000	» »	» »
Intérêts du capital, amortissement en 12 ans.	»	» »	28 50	»	» »	28 »	»	» »	14 66
Entretien des appareils, par four.	»	» »	11 50	»	» »	22 »	»	» »	6 »
Frais généraux d'employés, bureaux, etc.	»	» »	14 »	»	» »	13 »	»	» »	10 »
	»	» »	417 00	»	» »	489 50	»	» »	319 66
Rendement ordinaire 4.50 °/o	4.50 °/o	» »	» »	4.50 °/o	» »	» »	4.50 °/o	» »	» »
Huile fabriquée (brute).	1800 litres.	» »	» »	1800 litres.	» »	» »	1800 litres.	» »	» »
Prix de l'huile brute.	»	23 19	» »	»	27 19	» »	»	17 75	» »

Digitized by Google

Si on applique ces éléments de prix de revient aux schistes essayés par MM. d'Arcet et Compagnie, on verra qu'il y a dans les gisements des schistes bitumineux dont nous nous occupons, un élément industriel d'autant plus digne de fixer l'attention des capitalistes que l'existence de la tourbe dans la province fournirait à cette industrie un combustible à bon marché.

GRÈS BITUMINEUX.

Nous devons à l'obligeance de M. Paul Lasala les renseignements suivants sur un gîte de grès bitumineux que l'on rencontre au *Puerto del Escudo* (*col d'Escudo*).

Ce gisement d'une grande puissance et d'une grande régularité se trouve à la base inférieure du terrain crétacé dans l'étage *Néocomien*, et consiste en couches d'un grès jaunâtre, direction Nord-Sud avec une inclinaison Est de 15 à 20°, alternant avec des couches minces d'argile marneuse, présentant des couleurs variées.

Ces grès sont ferrugineux et on n'y trouve pas de fossiles.

Les terres argileuses qui couvrent la surface du sol, ont la composition suivante :

Chaux.	19.50
Argile.	45.65
Silice.	32.00
Humus.	2.85
	100.00

Les grès qui contiennent les substances bitumineuses, ont un grain fin, homogène et présentant un aspect plus ou moins siliceux. Leur couleur varie du gris jaune au noir ; ils sont mous, poreux et quelquefois tellement chargés de bitume, que celui-ci s'en dégage sous l'action de la chaleur solaire. Leur teneur moyenne est de 11 pour 100 d'huile, pesant 925° au densimètre.

Distillés en Angleterre, ils ont produit 4.65 pour 100 d'huile raffinée.

A Anvers on en a retiré 8 pour 100 d'huile propre à l'éclairage, et à Madrid 12 pour 100,

Enfin l'huile brute qui résulte de ce grès, analysée à Liverpool, a donné le résultat ci-dessous :

Digitized by Google

31 °/.	huile raffinée,
49	huile à engrenages,
4.70	paraffine,
7.50	coke,
7.80	perte.
100.00	

Jusqu'à ce jour on ne connaît que deux couches de grès bitumineux d'une épaisseur de 2 mètres chacune; mais on se proposait de faire des sondages qui probablement en feraient découvrir d'autres.

Ces gisements de *Puerto del Escudo* sont situés à 988 mètres au-dessus du niveau de la mer et à 58 kilomètres de *Santander*, dont 38 kilomètres se font par grande route et 20 en chemin de fer (à Renedo).

Il n'est pas douteux que ces grès pourraient, ainsi que les schistes dont nous avons parlé plus haut, donner lieu à la création d'une industrie importante.

DÉPÔTS DE TOURBES.

Les tourbières les plus importantes sont :

1° Celle de *Santander*, près de la ligne de faîte qui sépare la vallée de *Polaciones* de celle de *Llebana.;*

2° Celle du pont de *San-Miguel*, près de *Torrelavega*, sur la rivière de *Saya;*

3° Celle du *Sardinero*, près de *Santander;*

4° Celle entre *las Rozas* et *Horna;*

5° Celles de *Suances*, *Comillas*, *Polancos*, *Puente Viesgo*, *Torres*, *Valle de Pielagos*, etc.

Et enfin au Paramo de *Los Llanos de la Vilga* à 837 mètres au-dessus du niveau de la mer à l'ouest du pont de *Peñas Pardas*, il y a un lac d'eau douce contenant des dépôts de tourbe. Ce lac présente une étendue de 8 kilomètres de l'est à l'ouest, et 3 kilomètres du nord au sud.

De toutes ces tourbières, nous n'avons visité que celle du pont *San-Miguel* et celle du *Sardinero*, dont la production officielle est de 1,500 tonnes par an. Au reste, toutes sont assez peu exploitées.

Digitized by Google

Eaux minérales.

La plus grande partie de ce qu'on va lire sur les eaux minérales de la province de *Santander*, est empruntée à M. Amalio Maestre.

On trouve dans la province des eaux Thermales ou froides.

— — Salines.
— — Acidulées.
— — Ferrugineuses.
— — Acides.
— — Sulfureuses.
— — Iodurées ou Bromurées.

Et enfin des eaux Azotées.

Nous allons donner sur chacune les renseignements que nous avons pu nous procurer.

Eaux salines thermales de la Hermida. Dans la vallée de *Peña Rubia*, au fond d'un entonnoir bordé par les Pics-d'Europe, qui empêchent les rayons du soleil d'y pénétrer depuis la fin d'octobre jusqu'à la fin de mars, est située la *Hermida*, petit village sur la rive droite de la *Deva* à 18 kilomètres de *Potes*.

Dans ce village se trouve une source d'eau saline thermale : la densité de cette eau est 0.998, et sa température prise à la date du 13 août 1860 s'élevait à 49°.5.

Les eaux de la *Hermida* prises froides ont une légère saveur saline.

Soumises à la distillation, puis à l'analyse, elles ont fourni les résultats suivants :

9 litres ont laissé 5g.200 de matières solides, après évaporation.

104 parties de ce résidu solide ont présenté la composition suivante :

83.5	sel marin,
12.5	sulfate de chaux,
1.0	sulfate de magnésie,
4.0	carbonate de chaux,
1.0	silice,
0.5	matière organique,
1.5	perte.
Total... 104.0	

Digitized by Google

Ces eaux, dont la source se trouve au contact du trias et du terrain carbonifère, sont employées sous forme de boissons, de bains, de douches, etc., dans le traitement des maladies rhumatismales et des paralysies.

Les moyens d'arriver à l'*Hermida* sont assez faciles; et pendant la saison du 1er juin à la fin de septembre, on y voit plus de 1000 malades.

Eaux de Puente Viesgo. — *Puente Viesgo* est un petit village dans la belle vallée de *Torano*, séparé en deux parties par la rivière *Pas*. Dans ce village, au contact des terrains triasique et carbonifère, se trouve une source d'eau à la température de 35°, jouissant des mêmes propriétés et employée aux mêmes traitements que les eaux de la *Hermida*. L'établissement de bains qui y est fondé, reçoit à peu près la même affluence que le précédent, environ mille malades par saison. Du reste on y trouve des hôtels convenables, et l'accès en est facile.

Les eaux de *Puente Viesgo* ont une densité de 1.004. Soumises à la distillation, puis à l'analyse, elles ont fourni le résultat suivant : 460 gr. d'eau ont donné 9g.07 de matières solides. 18.14 parties de ces matières présentent la composition suivante :

Bicarbonate de chaux.	1.07
Id. de magnésie.	2.00
Chlorure de sodium.	7.86
Chlorure de calcium.	0.91
Chlorure de magnésium.	1.68
Sulfate de soude.	2.02
Sulfate de chaux.	1.45
Sulfate de magnésie.	1.08
Acide silicique.	0.07
Acide carbonique et azotique.	traces.
	18.14

Eaux salines tempérées. — Eaux de *Solares*. Ces eaux se trouvent dans le terrain crétacé, près de la rivière *Miera*, à deux lieues de *Santander*. Elles sont à la température de 28°, et leur densité est 1,0013.

460 grammes de ces eaux ont, après distillation, laissé un résidu de 0g.190; et 37.98 parties de ce résidu solide ont présenté la composition suivante :

Sous-carbonate de chaux.	5.98
Id. de magnésie.	2.04

Digitized by Google

Sulfate de soude.	2.76
Chlorure de sodium.	2.319
Id. de calcium.	1.86
Id. de magnésium.	1.49
Silice.	0.66

L'affluence des malades à *Solares* ne s'élève guère qu'à 150 ou 200 malades, on y traite les mêmes maladies que dans les deux établissements de la *Hermida* et de *Puente Viesgo*.

Eaux salines froides. — A deux lieues de *Santander*, sur la route de *Torrelavega*, on trouve près du village d'*Arce*, une fontaine d'eau saline purgative; ces eaux, qui appartiennent au terrain crétacé, n'ont pas été analysées.

Eaux acidulées thermales de Caldas de Cartes. — Au milieu de la vallée de *Buelna*, sur les bords de la rivière *Besaya*, à une lieue au sud de *Torrelavega* on trouve plus de 40 sources d'eau, dont beaucoup restent inutilisées. Ce sont les eaux acidulées thermales de *Caldas de Cartes*.

Ces eaux qui sont au contact du calcaire carbonifère et des grès du trias, ont une température de 37°.5. Elles se prennent sous forme de boissons, de bains, d'étuves et sont visitées du 15 mai à la fin de septembre par 1 250 à 1 300 malades.

575 grammes de cette eau laissent, après distillation, un résidu de 29.25; et de 45 parties de ce résidu a donné à l'analyse les résultats suivants :

Chlorure de sodium.	25
Chlorure de magnésium.	15
Sulfate de chaux et autres.	5
Plus de l'acide carbonique libre.	»

Eaux ferrugineuses d'Arroyo. — Les eaux d'*Arroyo* n'ont pas été analysées; elles se trouvent près de *Reinosa*, dans le terrain jurassique, et sont employées pour les maladies d'estomac et les chloroses.

Eaux ferrugineuses del Astillero de Guarnizo. — Les eaux de l'*Astillero de Guarnizo*, employées au traitement des chloroses et maladies d'estomac, se trouvent dans le terrain crétacé dans la baie de *Santander*, à deux lieues de la ville. Elles sont à la température de 13°, et

Digitized by Google

elles contiennent de l'acide carbonique, du chlorure de magnésium, du sulfate de chaux, du sulfate de magnésie et du carbonate de fer.

Il y a en outre un grand nombre de sources *ferrugineuses non étudiées*, nous en donnerons la nomenclature.

. . . . . .

Ferrugineuses diverses. — Entre *Carmona* et *Puente de Lara*, au contact du trias et du terrain jurassique, il y a une source d'eau ferrugineuse à la température de 15°.

1° A *Carriaro*, arrondissement de *Entrambasaguas*, source dans le terrain crétacé.

2° A *Castañedo*, source dans le terrain crétacé.

3° A *Castro Urdiales*, près de la rivière *Aranzal* et du ruisseau la *Magdalena*, dans le terrain crétacé.

4° A *Creto*, à une demi-lieue au nord de *Santander*, dans le terrain crétacé.

5° Deux sources : l'une à *Entrambasmestas* dans le terrain triasique, à une demi-lieue S.S.O. de *Alceda ;* la seconde se trouve à un kilomètre de celle-ci dans l'endroit appelé *Caquera*. Toutes deux sont près de la route de *Burgos* à *Santander*.

6° A *Ganzo*, arrondissement de *Torrelavega*, source dans le terrain crétacé.

7° A *Miña*, dans la vallée de *Cabuerniga*, source dans le terrain jurassique.

8° A *Oreña*, arrondissement de *Torrelavega*, source dans le terrain crétacé.

9° A *Quijas*, source dans le terrain crétacé.

10° A *Quintana*, dans le *Concejo mayor de Quintanillas*, arrondissement de *Reinosa*, quartier de *Quintana*, source également dans le terrain crétacé.

11° A *Suances*, arrondissement de *Torrelavega*, source dans le terrain crétacé.

12° A *Tezames*, arrondissement de *Villacarriedo*, source dans le terrain crétacé.

Sans aucun doute il y a encore un bien plus grand nombre de sources ferrugineuses plus ou moins importantes, car le fer abonde dans cette province, et chaque gisement rend ferrugineuses les eaux qui le traversent.

Digitized by Google

Eaux minérales acides. — On ne connaît point dans la province de *Santander* de sources d'eaux minérales acides.

Eaux sulfureuses thermales. — 1° A *Ontaneda*, arrondissement de *Villacarriedo*. Eaux sulfureuses, température de 26°.87; densité 1.0036. Ces eaux sont dans le terrain jurassique; soumises à l'analyse elles ont donné la composition suivante :

1000 parties de l'eau contiennent.

Acide sulfhydrique.	0gr.016
Id. carbonique.	0 .029
Sulfate de chaux.	0 .770
Id. de potasse.	0 .486
Id. de soude.	1 .347
Chlorure de sodium.	0 .980
Id. de magnésium.	1 .080
Carbonate de chaux, ...	0 .039
Id. de magnésie.	0 .024
Silice.	0 .011
Oxyde de fer..	0 .005

Les eaux d'*Ontaneda* sont traversées par des courants d'azote. Elles s'emploient dans le traitement des maladies herpétiques et s'administrent sous toutes formes.

2° A *Alceda*, dans le même arrondissement, tout près d'*Ontaneda*. Ces eaux jouissent des mêmes propriétés curatives et sont visitées tous les ans par 1500 malades environ. Les bains qui y sont établis sont assez confortables.

Soumises à l'analyse les eaux d'*Alceda* ont donné la composition suivante :

Pour un litre d'eau :

Azote (libre).	0gr.0968
Acide sulfhydrique (libre).	0 .0054
Id. carbonique (libre).	0 .0699
Bicarbonate de chaux.	0 .1800
Id. de magnésie.	0 .0898
Id. de fer.	0 .0189
Chlorure de magnésium.	0 .8792
Id. de sodium.	1 .3265
Sulfate de chaux..	1 .7099
Id. de soude..	0 .3906
Id. de potasse.	0 .3411
Silicate de soude.	0 .03022
Alumine.	0 .0016
Total.	5 .1399

Digitized by Google

3° A *Puente Nansa*. Ces eaux qui se trouvent dans le terrain jurassique ont une température de 26°.25. Elles n'ont point été analysées, et sont peu fréquentées.

Eaux sulfureuses tièdes. — A *Lierganes*. Lierganes est dans l'arrondissement d'*Entrambasaguas* sur les bords de la rivière *Miera*, dans le terrain crétacé. Ses eaux qui sont à la température de 20°, ont une densité de 1.003.

16ᵏ.100ᵍ de cette eau laisse par évaporation un dépôt de matières solides, pesant 34ᵍ.65. De ce résidu 872.80 parties sont composées de la façon suivante :

Acide sulfhydrique.	24.80
Chlorure de sodium.	172.00
Id. de magnésium.	86.00
Sulfate de soude.	168.00
Id. de chaux.	378.50
Carbonate de chaux.	19.72
Id. de magnésie.	22.28
Acide silicique.	1.50
Total.	872.80

Les eaux de *Lierganes* sont assez peu fréquentées; la saison dure du 1ᵉʳ juin à la fin de septembre. On les prend sous forme de boissons et de bains.

Nous terminerons notre revue des eaux minérales en citant deux autres sources d'eaux sulfureuses tièdes.

L'une à *Aldea del Ebro*, arrondissement de *Reinosa*, dans le terrain crétacé.

L'autre à *Limpias*, arrondissement de *Laredo*, également dans le terrain crétacé.

Gisements de matériaux pour la fabrication du verre.

Outre les combustibles indispensables, la province de *Santander* fournit à l'industrie du verre les sables siliceux très-purs de la rivière *Vilga* et de l'*Ebro*, et les calcaires de *las Rozas*. Les alcalis viennent de *Cerezo*, dans la province de *Logroño*.

Digitized by Google

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

On trouve dans la province de *Santander :*

Les grès;
Les calcaires;
Les marbres;
Les chaux ordinaires;
Et les plâtres.

Les grès se rencontrent dans le trias; les calcaires dans le terrain jurassique et crétacé.

Voici les noms des localités où se trouvent les marbres.

Hazas. Marbre rose, taches grises, susceptible d'un beau poli.

Ornayo. Marbre rose clair, taches noires.

Maliaño. Mêmes teintes, un peu plus foncé.

Somo. Marbre gris.

San Pedro del Mar. Marbre jaune.

Himojedo. Marbre blanc bleuâtre.

Bóo. Marbre blanc bleuâtre un peu plus foncé, avec veines blanches.

Arce. Gris sombre; empreintes de fossiles.

Ramales. Marbre noir veiné de blanc.

Santoña et *Laredo.* Marbre gris, tacheté de blanc.

La chaux hydraulique pourrait se trouver dans les calcaires du terrain jurassique ou du terrain crétacé, mais elle n'est point exploitée.

Les plâtres qui sont, du reste, d'une assez mauvaise qualité, se trouvent dans les localités suivantes :

Isla de Oleo; vallée de *Lamason*, près de la *Fuente. San Vincente de la Barquera.* Environs de *Reinosa. Cabezon de la Sal* et *Punto de la Yesera* (entre *Laredo* et *Oreñon*).

CHAPITRE IV.

Statistique minérale de la Province.

Le tableau suivant indique la production en tonnes, année par année, des diverses espèces minérales, exploitées de 1858 à 1872 inclusivement.

Digitized by Google

PRODUCTION EN TONNES.

ANNÉES	FER.	CALAMINE.	CUIVRE.	PLOMB.	LIGNITE.	TOURBE.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1858	12 547 »	24.550 »	308 »	201 »	»	»
1859	7.491 »	27.600 »	1.610 »	437.200	»	»
1860	15.512.280	9.983.400	5.989	60.790	»	»
1861	8.484.700	17.466.004	275.206	81.852	»	»
1862	15.800 »	31.613.200	345 »	67.300	»	»
1863	29.698 »	34.119.200	200 »	58 »	16.425 »	»
1864	7.040 »	35.375.100	»	»	»	»
1865	1.690 »	42.407.900	270 »	»	»	»
1866	1.785.800	38.822.900	250 »	»	2.400 »	»
1867	10.369.400	42.850 »	270 »	»	1.110 »	33.600
1868	132.183.200	82.286.900	131 »	500 »	300 »	120 »
1869	34.538.700	67.617.700	120 »	998.400	3.540 »	1.550 »
1870	35.242 »	78.743.700	160 »	1.101 »	5.560 »	1.500 »
1871	35.480 »	61.708 »	320 »	1.480 »	5.456.500	1.500 »
1872	29.364 »	65.553.900	2.070 »	810 »	3.300 »	»

Il démontre de grandes oscillations dans la production, et tendance à l'augmentation.

La pacification du pays, l'amélioration des voies de transport, et surtout leur extension, augmenteraient considérablement cette production. L'exploitation de calamines, après avoir épuisé en partie les gisements de la côte, devra reporter son activité sur la partie centrale, celle des pics d'Europe.

Les mines de fer, encore à peine connues, devront prendre une grande importance.

L'industrie de la distillation des schistes, qui est encore à créer, viendra donner un débouché aux schistes et grès bitumineux, ainsi qu'aux tourbes et aux lignites.

Des facilités de transport et un atelier d'épuration convenable augmenteraient considérablement la production du sel.

Quant aux mines de cinabre, cuivre et plomb, leur production est peu importante, et on ne connaît pas aujourd'hui de gisements qui puissent donner lieu à un grand mouvement d'exportation.

Nous ajouterons enfin que le tableau statistique ci-dessus indique des productions bien au-dessous de la vérité; et que on peut compter sans crainte que la production est de près de 1/2 en plus de celle qui figure au tableau.

Cela tient à ce que les renseignements fournis par les mineurs sont généralement au-dessous de la réalité, et que beaucoup ne remettent aucun document statistique.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Des transports.

Ils se font par route, par chemin de fer et par mer. Nous examinerons séparément ces différents moyens de transport.

Des routes. — Elles se divisent en trois classes.

Routes de première classe. — Il n'y a que celle de Valladolid à Santander, qui a 88ᵏ.100ᵐ, dans la province de Santander.

Routes de deuxième classe. — De Muriedas à Bilbao par la Cavada et Ramales, 59ᵏ.259ᵐ, dans la province.

De Burgos à Peñacastillo, 57ᵏ.840ᵐ, dans la province.

De Torrelavega à Oviedo, par Cabezon de la Sal, Llanes, Rivadesella, las Ariondas et Infiesto, 49ᵏ.649ᵐ, dans la province.

Routes de troisième classe. — De Ampuero à Santona, par Barcena, 24 kilomètres.

De Balmaseda à Castro-Urdiales, 13 kilomètres, dans la province.

De Cabezon de la Sal à Lantueno, par Valle, 52ᵏ.492ᵐ.

De Cerceda à Laredo, 44ᵏ.729ᵐ, dans la province.

De Corrales à Puente Viesgo, 12ᵏ.642ᵐ, dans la province.

De Palencia à Tinamayor, par Cervera, Potes, 67ᵏ.800ᵐ, dans la province.

De Puente de San Miguel à San Vicente de la Barquera, 32ᵏ.890.

De Quintanilla à Reinosa, 30ᵏ.400.

De Solares à Onton, par Laredo et Castro-Urdiales, 66ᵏ.656ᵐ.

De Torrelavega à la Cavada, par Vargas, 33 kilomètres.

De Villasante à Solares, par Espinosa de las Monteros, 31ᵏ.200ᵐ.

Et à ces routes il faut ajouter les routes particulières faites par les établissements miniers que nous avons cités dans le cours de cette note.

La richesse en routes de cette province est donc de 88ᵏ.100ᵐ de route de première classe;

166ᵏ.748ᵐ de deuxième classe;

Et 400ᵏ.809ᵐ de troisième classe, plus les routes particulières.

Digitized by Google

Or, en 1870, il n'y avait en Espagne pour les 45 provinces de la péninsule que 6.922^{k}.095^{m} de routes de première classe terminées; 6.283^{k}.704^{m} de routes de deuxième classe terminées, et 5.064^{k}.561^{m} de routes de troisième classe terminées; soit, pour chaque province :

153^{k}.824^{m} de première classe ;
139^{k}.638^{m} de deuxième classe;
112^{k}.768^{m} de troisième classe.

Quand le réseau sera complet, il se composera de :

7.416^{k}.012^{m} de première classe ou par province. .	164^{k}.800^{m}
9·771^{k}.402^{m} de deuxième classe ou par province. .	217^{k}.200^{m}
19.305^{k}.064^{m} de troisième classe ou par province. .	429^{k}.045^{m}

Santander est une des rares provinces dont le réseau est aujourd'hui terminé, et, au point de vue des mines, ce réseau est satisfaisant.

CHEMINS DE FER. — Jusqu'à présent, cette province ne compte qu'avec la ligne qui réunit la capitale à *Madrid*, et qui la traverse sur une longueur de 109 kilomètres, depuis la limite de la province de *Palencia*, près de *Mataporquera*, jusqu'à *Santander*.

Un chemin de fer de *Torelavega* à *San-Vicente de la Barquera*, passant près de *Reocin*, *Mercadal*, *Cabezon de la Sal*, *Treceño* et *Cabiedes*, avec un petit embranchement de *Cabiedes* à *Comillas*, pourrait se faire assez économiquement avec des pentes maxima de 0^{m}.03 par mètre.

Il faciliterait les transports à *Santander*, où le prix des frets est plus bas qu'aux ports de *San-Vicente*, *Comillas* et *Tinamayor*, et où surtout il est plus facile à trouver.

Ce chemin pourrait au besoin être prolongé jusqu'à près de la rivière de *Tinamayor*, un peu au delà de *Pesues;* il aurait alors environ 70 à 80 kilomètres, y compris l'embranchement sur *Comillas*, et desservirait les mines de calamines de *Reocin*, production. . 42,000 tonnes.

Celles de *Mercadal*, production.	3,000	—
Celles d'*Udias* et de *Comillas*.	15,000	—
Les mines de sel de *Cabezon de la Sal*, *Cabiedes* et *Treceño*.	1,500	—
Les calamines *Florida*.	1,000	—
Et celles des Pics d'Europe.	2,500	—
Total.	65,000	tonnes.

Ce chemin aurait, en outre, le mouvement des produits du sol et des

Digitized by Google

voyageurs, et il apporterait au chemin d'*Alar* à *Santander*, sur les 28 kilomètres qu'il y a de *Torrelavega* à *Santander*, tout son mouvement de minerais. Il faudrait aussi un embranchement de *Guarnizo* aux mines de fer de *Camacho;* ce petit embranchement de 6 à 8 kilomètres développerait là une exploitation considérable, qui est aujourd'hui grevée par des transports en charrettes. Ce serait certainement un mouvement de 60,000 tonnes sur ce trajet et sur les 11 kilomètres qui, sur la ligne générale, réunissent *Guarnizo* à *Santander*.

Il est question, en outre, d'un chemin de fer de *Guarnizo* à *Castro-Urdiales*, passant par *Maliaño*, *Marina de Cudeyo* et *Laredo*, avec embranchement sur *Santoña*. De *Castro-Urdiales*, ce chemin se prolongerait jusqu'à *Bilbao;* ce serait donner la vie et le mouvement à toutes les mines de fer situées sur ce parcours. Partie de ces minerais s'en irait à *Bilbao*, partie à *Santander*.

Une étude plus approfondie des mines de fer de la *Mata* pourrait conduire à faire, lors de leur mise en exploitation, un petit chemin de fer de ces mines à *Corrales;* il aurait environ 6 kilomètres, et ce serait encore un aliment pour *Santander*.

Telles sont les voies ferrées à construire que je considère personnellement comme utiles, ou que d'autres ont déjà projetées.

Des Ports.

L'exportation des minerais se fait par les ports de *Tinamayor*, *Tinamenor*, *San-Vicente de la Barquera*, *Comillas*, *Suances*, *Santander*, *Laredo* et *Santoña*, *Oriñon* et *Castro-Urdiales*.

Tinamayor. — On a exporté par ce port, en 1873 :

4,500 tonnes calamine calcinée pour *Anvers*.
1,500 tonnes manganèse pour *Dunkerque*.
Le fret est de 27 à 28 fr. l'hiver et de 24 à 26 fr. l'été.

Les plus grands navires qui entrent dans ce port calent 9 à 11 pieds d'eau, et jaugent 150 à 200 tonnes.

Tinamenor. — A l'est de *Tinamayor*, à l'embouchure du *Nansa*, est peu important. Sert à l'embarquement de quelques minerais de fer.

Digitized by Google

San-Vicente de la Barquera. — En 1873, à *San-Vicente de la Barquera*, on a exporté 1,600 tonnes de calamine calcinée pour *Anvers*.

Le fret moyen d'hiver est de 22 fr.

Le fret moyen d'été est de 21 fr.

Les navires les plus grands qui fréquentent ce port ont 14 pieds de tirant d'eau et 250 tonnes de jauge. Il est généralement fréquenté par des navires de 150 à 200 tonnes.

Comillas. — En 1873, on a exporté par *Comillas :*

6,300 tonnes calamine calcinée à *Anvers*.

2,000 tonnes calamine calcinée à *Avilès* (Asturies).

Le fret moyen d'hiver pour Anvers est de 23 fr.

Le fret d'été pour Anvers est de 22 fr.

Les plus grands navires qui peuvent entrer à *Comillas* sont ceux de 11 pieds français de tirant d'eau et de 190 tonnes de jauge. La plupart de ceux qui y arrivent calent 9 à 10 pieds et jaugent 140 à 160 tonnes.

San-Martin de la Arena ou Suances. — *Ria de San-Martin de la Arena* ou *Suances*, connue sous le nom de la *Requejada*.

Elle est formée par la réunion des rivières *Saja* et *Besaya*, à 1 kilomètre plus bas que *Torrelavega ;* elle débouche dans la mer de *Suances* par une barre de sable mobile couverte de peu d'eau, à marée basse. Elle est navigable jusqu'au village de la *Requejada*, soit 5 kilomètres 1/2 environ pour des bateaux de 150 tonnes, d'un tirant d'eau qui ne dépasse pas 9 à 10 pieds. On exporte par cette *Ria* environ 19,000 tonnes de calamine par an, qui procèdent des mines de *Reocin*.

Port de Santander. — Ce port est trop connu pour en donner la description. Il admet des navires au mouillage de 26 pieds de tirant d'eau, et ses quais peuvent être accostés par des navires de 20 pieds de tirant d'eau. Il admet donc des navires de 4 à 5,000 tonnes au mouillage et de 1,000 à 1,500 tonnes à quai.

L'exportation du minerai par *Santander* est environ de 40,000 tonnes. Dans la baie de *Santander*, il y a différents points d'embarquement : un auprès du village de *Maliaño* pour l'embarquement des minerais de fer; un autre à *San-Salvador* pour le même usage.

A ces points peuvent arriver des navires de 16 à 18 pieds de tirant d'eau, mais seulement à haute marée.

On embarque beaucoup de minerais de fer par ces deux points : les

Digitized by Google

uns procèdent de *Maliaño* même; les autres des mines de *Camargo*, près *Guarnizo*. Il n'y a pas de renseignements officiels, mais le tonnage dépasse certainement 30,000 tonnes.

Les frets de *Santander* à *Dunkerque* sont : en été de 14 fr.; en hiver de 17 à 18 fr. Pour *Anvers*, ils sont de 16 fr. en été et 20 à 21 fr. l'hiver.

Laredo et Santoña. — Le port de *Laredo* est situé à la pointe du *Rastullar*, à l'est de la ville; il ne reçoit guère que des barques de pêche; les navires s'arrêtent à *Santoña*.

Le port de *Santoña* est à l'embouchure de la *Limpias*, en face de la rivière *Ason*. Il possède un bassin de 210 mètres de long, 100 mètres de large, de 0.50 centimères d'eau à marée basse en eaux vives, avec une entrée de 25 mètres.

Des navires de 26 à 28 pieds de tirant d'eau peuvent entrer dans ce port, dans lequel on embarque à présent seulement 5 à 6000 tonnes de minerai.

Oriñon. — *Ria de Oriñon*, à l'est du port de *Laredo*, à l'embouchure de la rivière *Guriezo*, est fréquentée par des barques qui transportent du minerai de fer au haut fourneau de *Guriezo*, et à diverses forges catalanes.

Castro-Urdiales. — C'est un des ports les plus sûrs de la province, dans lequel on embarque de 6 à 8000 tonnes de minerai de fer par an.

CHAPITRE VI.

De la vente des minerais.

Nous croyons ne pouvoir mieux terminer ce qui a trait à la richesse minérale de cette province qu'en faisant connaître les règles qui servent de base à la vente des minerais. Nous indiquerons donc successivement les différentes formules adoptées.

1° VENTE DES CALAMINES.

La calamine se vend généralement calcinée, et jusqu'à présent ses principaux débouchés ont été l'étranger, et notamment l'établissement de la Vieille-Montagne.

Digitized by Google

Cette Société achète dans les conditions suivantes :

La tonne de calamine calcinée et sèche, rendue franco sous vergue à *Anvers*, est payée à raison de 140 francs pour une teneur en zinc de 55 pour 100, qand le zinc laminé vaut 70 francs les 100 kilogrammes et au-dessous. Pour chaque franc d'augmentation du prix du zinc laminé, le prix de la tonne de calamine augmente de 1 franc.

Chaque unité de teneur en zinc au-dessus de 55 pour 100 est de 4 francs.

On constate l'humidité par dessiccation à 100°; on accorde 3 p. 1000 de bon poids.

Les frais de pesage et échantillonnage incombant au vendeur sont de 0f.15 par tonne.

La prise d'échantillon se fait au déchargement en mettant à part un panier de chaque 30 paniers déchargés. On pulvérise le minerai ainsi mis à part, on l'étend uniformément sur le sol en forme de carré, qu'on divise en 4 cases par des diagonales. On prend au hasard le poids de 1 kilogramme de minerai dans chaque case, on mélange et divise en trois paquets que l'on scelle des sceaux du vendeur et de l'acheteur.

Chacun d'eux fait son essai sur un paquet : le troisième reste pour être essayé par un tiers désigné d'avance, si les résultats des essais des vendeurs et acheteurs ne sont pas concordants; c'est-à-dire, quand ils diffèrent de plus de 1 pour 100 pour le zinc, de 2 pour 100 pour le fer et manganèse, et de 1/2 pour 100 pour le plomb ; on règle alors la facture sur le résultat moyen de ces trois essais. Les frais de cette troisième analyse sont supportés en commun.

Dans les calamines on tolère 4 pour 100 de plomb et 25 pour 100 de fer ou manganèse réunis.

Au delà de ces teneurs on fait un décompte de 0f.50 par dixième de plomb en sus et de 1 franc par unité en plus de fer ou manganèse.

Les analyses sont faites par voie humide. La Vieille-Montagne essaye par le procédé Skaffner.

On accorde un jour de planche pour 30 tonnes au déchargement, et on n'expédie pas plus de trois navires à la fois.

Le payement se fait ainsi :

A l'arrivée des navires à *Anvers*, valeur à trois mois à raison de 70 francs par tonne pour les minerais riches (teneur d'au moins 55 pour 100), et 60 francs pour les minerais pauvres. Le solde, après

Digitized by Google

essai, est payé aussi en valeurs payables à trois mois de la date de l'arrivée des navires.

Anciennement, la Vieille-Montagne fixait le prix des minerais d'après la formule suivante :

$$V=(R-E)\,P-T+\left(\frac{RE}{2}\right)D.$$

Dans laquelle V, est la valeur du minerai ;

R, le poids du zinc en kilogrammes contenu dans une tonne de minerai ;

E, le nombre de kilogrammes qu'on déduit pour perte au traitement métallurgique ;

Soit : 11 pour 100 pour minerai cru,
15 pour 100 pour minerai calciné,
17 pour 100 pour minerai calciné, contenant plus de 15 pour 100 de silicate de zinc ;

P, prix d'un kilogramme de zinc quand il vaut 45 francs les 100 kilogrammes ;

T, prix du traitement métallurgique d'une tonne de minerai, soit de 70 à 80 francs ;

D, différence du prix réel du kilogramme de zinc à la cote du jour au prix du kilogramme, quand il vaut 45 francs les 100 kilogrammes.

2° BLENDE.

La Vieille-Montagne la paye dans les mêmes conditions que la calamine, 100 francs la tonne, pour une teneur de 50 pour 100 en zinc, et 4 francs par tonne en plus ou en moins, par unité de teneur en plus ou en moins.

On ne tolère que 4 pour 100 de plomb, au delà on déduit 0f.50 par dixième d'unité et par tonne.

3° PLOMB.

Au *Havre* on les vend suivant la formule suivante franco sous vergue :

$$V=(T-6)\ 0{,}97\times C-65.$$

T, nombre de kilogrammes de plomb contenus dans une tonne de minerai ;

C, le prix de un kilogramme de plomb au cours du jour ;

Digitized by Google

6 est une bonification pour perte au traitement métallurgique qui s'élève à 7 quand la teneur est inférieure à 75 pour 100;

65, est le prix du traitement d'une tonne de minerai.

4° MINERAIS MÉLANGÉS ZINC ET PLOMB.

La formule de la Vieille-Montagne pour ces minerais est :

$$V = (Z + P - 9) \times 0.76 \times 46 - 57.$$

Dans laquelle : Z, est la teneur pour 100 en zinc.

Et P, — — en plomb.

Cette formule est peu avantageuse pour le vendeur; il a intérêt à faire la séparation mécanique des deux minerais.

5° MINERAIS DE CUIVRE.

Ceux-ci se vendent généralement à *Swansea*, en *Angleterre*, suivant le *Standard*.

Le *Standard* est un tableau qui contient les prix de la tonne de cuivre variables suivant le cours du cuivre et la teneur du minerai.

Pour avoir la valeur d'une tonne de minerai d'une teneur de 9 p. 100, par exemple, on cherche le *Standard* qui correspond à cette teneur et au cours du jour et on trouve, par exemple, 112£; le minerai vaut donc $\frac{112£ \times 9}{100}$, dont on déduit pour fais de traitement 45^{sh}, d'où la tonne vaut $\frac{112£ \times 9}{100} - 45^{sh} = 7£.16^{sh}.7^{d}.$

Les essais pour cuivre en *Angleterre* sont faits par voie sèche avec beaucoup de soin, mais diffèrent très-sensiblement en faveur de l'acheteur de ceux faits par la voie humide.

CHAPITRE VII.

Population et Climat.

La province de *Santander* a une superficie de 5 471 kilomètres carrés, et en 1860 elle avait une population de 219 966 habitants et 799 villes ou villages.

Digitized by Google

La population s'est beaucoup accrue depuis. Ses habitants sont en général laborieux, sobres et économes.

On a employé en 1872 près de 4000 hommes par jour au travail des mines en leur payant les journées moyennes suivantes :

Hommes, 7 réaux; femmes, 4 réaux; adultes, 5 réaux.

On augmenterait facilement la population minière.

Le climat est pluvieux, il pleut environ 155 jours par an.

La température moyenne est de 14° environ; les plus grands écarts étant — 6° à + 36°. C'est un climat sain.

Tel est le résumé de mes études sur la richesse minérale de la province de *Santander*.

Je l'ai écrit sous la forme la plus concise et la plus méthodique qu'il m'a été possible; je l'ai dépouillé de tout commentaire, laissant à chacun le soin de tirer les conséquences qu'il lui conviendrait, des faits que j'ai mis sous ses yeux.

Présenté sous cette forme, c'est un travail ingrat, mais il remplit ainsi le but que je me suis proposé, qui est de faire connaître dans ses détails et ses réalités la richesse minérale actuelle de la province et les points probables où l'on pourra en créer d'autres.

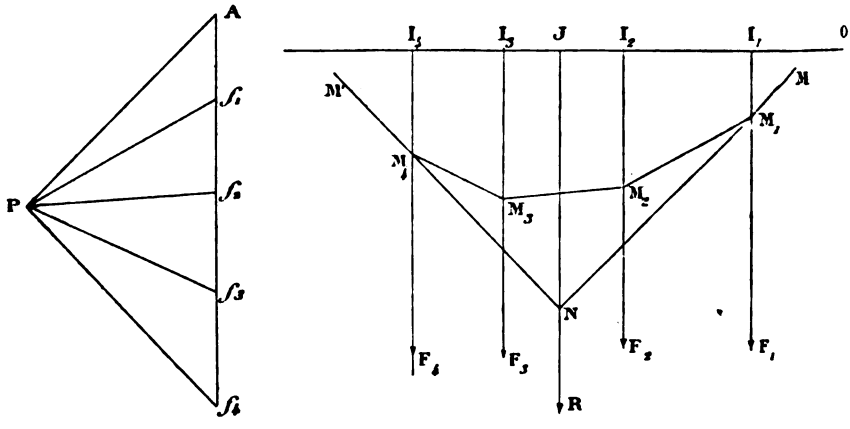
Digitized by Google

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

DÉTERMINATION ET REPRÉSENTATION GRAPHIQUES

(*Séance du*

Polygone funiculaire.



$$Af_1 = F_1,\quad Af_2 = F_2,\quad Af_3 = F_3,\quad Af_4 = F_4,$$

$$OI_1 = l_1,\quad OI_2 = l_2,\quad OI_3 = l_3,\quad OI_4 = l_4,\quad OJ = x$$

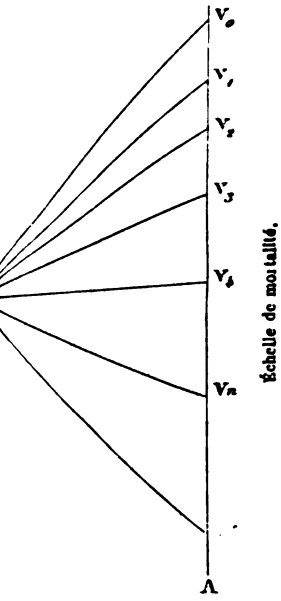
$$x = \frac{F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3 + F_4 l_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4} = \frac{\Sigma F l}{\Sigma F}.$$

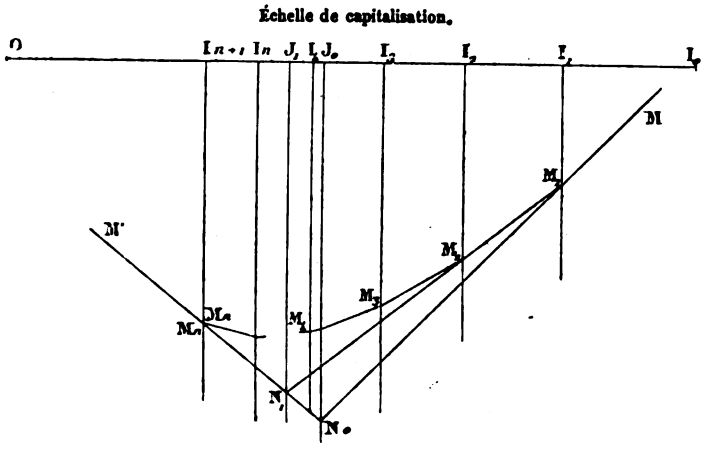
Digitized by Google

TARIFS D'ASSURANCES SUR LA VIE.

Mars 1877)

Construction de la prime assurant 1 franc au décès d'une tête désignée.





$AV_0 = v_a$, $AV_1 = v_{a+1}$,
$_1 = v_{a+2}$, etc..., $AV_n = v_{a+n}$.

$OI_0 = 1$, $OI_1 = (1+i)^{-1}$, $OI_2 = (1+i)^{-2}$, etc...,
$OI_n = (1+i)^{-n}$, $OI_{n+1} = (1+i)^{-n-1}$.

$$v_a P_a = (v_a - v_{a+1})(1+i)^{-1} + (v_{a+1} - v_{a+2})(1+i)^{-2} + ...$$
$$..... + (v_{a+n-1} - v_{a+n})(1+i)^{-n} + v_{a+n}(1+i)^{-n-1}. \quad P_a = OJ_0.$$

$_{a+1}$; v_{a+2}, ... v_{a+n}; nombres des têtes d'un même groupe, vivantes aux âges a, $a+1$, $a+2$, ... $a+n$.

i intérêt de 1 franc pendant un an.

P_a Prime unique à verser par une tête d'âge a pour assurer 1 franc à son décès.

Digitized by Google

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

ROBERT NAPIER

PAR M. JULES GAUDRY.

Il y a bientôt un an, l'un des plus grands mécaniciens de notre époque, M. Robert Napier, constructeur de navires et de machines à Glascow, est décédé à l'âge de 85 ans, presqu'à l'insu du monde savant lui-même.

Quoique tardivement, notre Société des Ingénieurs voudra rendre hommage à sa mémoire, car la France a eu part à ses magnifiques travaux, et il n'était rien moins qu'un inconnu parmi nous. Non-seulement il a été Président de la Société des Ingénieurs de Londres et de la Méchanical-Institution, mais nous l'avons vu, à Paris, membre du jury international de l'Exposition de 1855, à la suite de laquelle il a reçu une grande médaille et la croix de la Légion d'honneur de la main même du souverain avec une distinction particulière.

Napier a été le constructeur de ces beaux steamers de la Compagnie transatlantique française, le *Péreire* et la *Ville-de-Paris*, qui ont fait de prime-saut un si régulier service. Il a construit également le *Persia*, le *Scotia*, la *Bérénice*, le *British-Queen*, le *Fire-King*, le *Duc-de-Wellington*, le *Black-Prince*, l'*Hector* et autres, qui marquent comme types ou époques dans la marine anglaise. Plus de 100 navires complets sont sortis de ses chantiers et ateliers pour la marine et la navigation fluviale, pour le commerce et les amirautés; il a été longtemps le constructeur attitré de la Compagnie Cunard. Les premiers steamers qui aient traversé l'Atlantique avec plein succès ont été les siens. Il a été l'un des grands propagateurs des constructions en fer.

Digitized by Google

La vie de Napier est exemplaire et touchante comme celle de Watt, de Stephenson, de Pihet, de Cavé et autres qui ont été nos maîtres et nos introducteurs, qui ont été, en un mot, à l'industrie ce que les grands classiques du dix-septième siècle ont été aux lettres et aux arts. Robert Napier est né le 18 juin 1791 à Dumbarton, ville historique d'Écosse, sur la Clyde. Son père, humble mais habile serrurier, illettré, voulut qu'il fût instruit, et il le mit à l'école de Dumbarton. Il y montra cette étonnante facilité de travail et d'appropriation à toutes les études qui caractérisent les hommes d'élite. A 14 ans, le latin, le grec, le français lui étaient aussi familiers que les mathématiques et la mécanique, qui avaient ses préférences, ainsi que l'architecture et le dessin que lui enseignait, après les classes, un vieil architecte qui l'avait pris en affection.

Son père, à qui les maîtres de Robert promettaient qu'il serait un jour un éminent littérateur, voulait l'envoyer au collége d'Édimbourg. Mais le jeune homme supplia qu'on lui laissa faire humblement son apprentissage de mécanicien. Il le fit rudement pendant deux années, devint fort habile en ouvrages de petite serrurerie, travailla ensuite chez son père à des machines pour imprimer les étoffes, dont celui-ci avait reçu la commande pour une grande usine. Il y eut ainsi ses entrées.

C'est à peu près l'histoire de Cavé, notre mécanicien parisien, auquel la Société des Ingénieurs a aussi consacré une notice, et, comme lui, Napier enthousiasmé à la vue de toutes sortes de machines sentit sa vocation se décider. En 1812 il quitta Dumbarton et vint à Édimbourg.

Mais il y fut fort malheureux. Encore aujourd'hui, l'Athènes du Nord, comme on l'appelle, est peu industrielle. Napier n'y trouva qu'un humble atelier de chaudronnerie où il fut employé, quoiqu'il fût habile, comme simple ouvrier à 10 schellings par semaine. Il n'y eut que des déboires et des mortifications. Il quitta Édimbourg, vint à Glascow, travailla avantageusement aux ateliers du constructeur Lang, acheta, en 1815, pour son compte un petit établissement de serrurerie dans un faubourg de Glascow, où il commença avec 2 apprentis, et qui devint peu à peu la grande maison que nous connaissons, où 3,000 hommes étaient employés lors de la mort du fondateur. La forge aux gros arbres de marine eut un moment les plus puissants marteaux-pilons du monde, et il annexa à ses vastes ateliers de Glascow les magnifiques chantiers de Gowan pour la construction des navires. Ces établissements se distinguaient, sinon par l'ensemble et la beauté des halles ajoutées succes-

Digitized by Google

sivement, du moins par le travail méthodique, la bonne tenue, l'ordre et le caractère pratique de l'outillage; l'atelier de montage, d'où sont sorties les machines du *Persia* et du *Péreire*, n'était autre qu'une ancienne grange, comme on le vit longtemps aussi chez Penn, à Grennwich; mais les chantiers de Gowan, avec ses cales, ses découpoirs à chariot, ses perceuses multiples et ses appareils à cintrer les membrures de navires, se remarquent encore parmi cette prodigieuse quantité de belles usines qui bordent les rives de la Clyde sur plusieurs lieues de longueur.

Les navires de Napier se sont toujours distingués par l'élégance, disons mieux, par le cachet artistique de leurs formes et par leur solidité due moins à la masse de matière qu'au soin dans le travail, et la combinaison des éléments, témoin le *Scotia* qui, âgé de 15 ans, fait encore les prouesses de vitesse qu'impose une concurrence effrénée, et le *Péreire*, moins doré que le *Scotia*, mais dont aucun yacht de souverain ne surpasse l'élégance des formes et la perfection du travail.

Parmi les bâtiments de guerre, mentionnons l'*Hector*, totalement construit en fer, qui a marqué par des organisations de chantier curieuses pendant la période de construction, exemple l'éclairage, que donnait le gaz introduit dans la coque par un gros conduit et distribué partout dans cet obscur navire sans sabords ni hublots.

La maison Napier s'est personnifiée dans plusieurs types de machines marines devenues classiques, et assez souvent décrites pour qu'il suffise de les énoncer, savoir :

1° La machine dite de Watt à balanciers latéraux, si merveilleusement équilibrée pour actionner des roues à aubes, à basse pression, *type du Persia* avec léger bâtis très-rigide, composé de colonnettes et d'armatures en fer forgé.

2° Machine-pilon pour navires à hélice du commerce avec condenseur à surface, *type du Péreire.*

3° Machine horizontale sous la flottaison pour bâtiments de guerre à hélice, *type de l'Hector* avec bielles en retour logées dans les gros plongeurs des pompes à air, formant fourreau. C'est un intermédiaire entre la célèbre machine directe à fourreau de Penn et le type à bielle en retour, proprement dit, et à deux tiges de piston, de Maudslay et de Dupuy de Lôme.

4° Machine directe à grande course, en mouvement de locomotive

Digitized by Google

incliné sur bâtis à 45 degrés pour steamer à roues, de courte traversée ou de navigation fluviale.

Ce qui a toujours distingué ces machines de Napier, c'est la rondeur de marche ainsi que la profonde connaissance des difficultés si multiples de la marine, et ce qui n'est pas moins remarquable, c'est qu'il avait des moyens d'exécution relativement simples, souvent même ces moyens primitifs dont les hommes de génie ont le secret.

Napier était le plus excellent des hommes; peu d'ingénieurs anglais ont laissé meilleur souvenir en France. Il était très-facile pour laisser voir ses ateliers à l'étranger voulant s'instruire.

C'est un des praticiens savants qui ont le plus contribué à l'essort industriel de Glascow, et au progrès général de l'industrie mécanique comme de la marine à vapeur.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES DE VIENNE

ANNÉE 1876

COMPTE RENDU DES TRAVAUX :

I

Sondages faits au diamant à Bohmisch-Brod, par M. Rziha.
Barrage de la rivière Sill, près du chemin de fer du Brenner, par M. Winkelblech.
Remarques sur les rues pavées, par F. Kreuter.

II

Ponts et échaffaudages en bois en Amérique, par Ernest Pontzen.
Sur la précision du mesurage des longueurs par la chaîne, par J. Wastter.

III ET IV

Progrès réalisés dans la construction des ponts en fer, par E. Winkler.
Traverses en tôle, par Zazar.
Pompe à feu à vapeur, par Bach.
Régularisation du Danube, par Engerth.
Traverses en fer, par Hohenegger.

V

Tachygraphomètre de Wagner, par W. Tinter.
Nouvelle boussole à main, par Ustaga.
Boîte à feu perfectionnée pour locomotive, par Kaselowsky.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS DE HANOVRE

La Société existe depuis 25 ans, elle se compose de :

Membres honoraires.	7
Correspondants.	9
Associés.	742
Cotisation annuelle.	25 frs.
Recette annuelle.	25,400 frs.

TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ, ANNÉE 1876.

1° *Mémoires techniques.*
Maison d'aliénés d'Osnabruck.
Machine à mâter à Deutsch-Nettkow.
Dock sec à Kiel pour des bâtiments de guerre.
Construction des ponts en Amérique, par M. Gleim, de Cologne.
2° *Maison d'habitation* du Dr Oppler.
Pont sur l'Elbe à Domitz, par Hæseler.
Construction des ponts en Amérique (suite), par M. Gleim, de Cologne.
3° *Maison de garde dans le jardin de l'hôpital à Aix-la-Chapelle*, par M. Ewerbeck.
Treuils, par M. Hensinger.
Recherches sur les erreurs commises dans le nivellement, par H. Helmert.
4° *Maison d'habitation à Angermünde*, par M. Otzen.
Forces intérieures d'un corps, par M. Francke.
Remise de locomotives de Magdebourg, par Huntemuller.
Tunnel de Rochsbourg, par M. Osthoff.

N. SERGUEEFF.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(MAI ET JUIN 1877)

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

N° 11

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Aciers sans soufflures*, par M. Euverte (séance des 4 et 15 mai et 1er juin, pages 329, 367 et 375).

2° *Freins continus dans les trains en marche* (*Nouvelle application de l'électricité à la manœuvre des*), par M. Bandérali (séance du 18 mai, page 359).

3° *Tunnel sous la manche* (*Constitution géologique du détroit du Pas-de-Calais*), par M. Lavalley (séance du 18 mai, page 362).

4° *Minerais à base d'oxyde de Nickel* (*Traitement des*), par M. Jules Garnier (séance du 1er juin, pages 368 et 441).

5° *Hôpital de Berck* (*Construction de l'*), par M. Lavezzari (séance du 1er juin, page 368).

6° *Statuts* (*Révision de l'article* 20) (séance du 15 juin, page 375).

7° *Situation financière de la Société*, par M. le Trésorier (séance du 15 juin, page 384).

8° *Obligations* (*Tirage d'*) (séance du 15 juin, page 385).

Digitized by Google

9° *Médaille d'or* (*Remise de la*) à M. Gottschalk, pour son Mémoire sur le service du matériel et de la traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche (séance du 15 juin, page 385).

10° *Pompes centrifuges simples* (*Théorie des*), par M. Poillon (séance du 15 juin, page 386).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Mazurkiewiez, membre de la Société, une notice sur les *Chemins de fer de l'empire de Russie.*

De M. Thomasset, membre de la Société, trois tableaux donnant : 1° les *Coefficients de rupture en long et en travers, ainsi que les allongements observés dans les fers à double T qui ont été admis dans les constructions du Palais de l'Exposition de* 1878; 2° les essais faits sur des *Fers de provenance identique* (*fer au bois*) *mettant en relief les modifications de résistance subies par le fer, par la seule différence d'échantillons produits; Coefficient de rupture à la flexion des verres bruts ou polis de la Compagnie de Saint-Gobain.*

De M. Forquenot, membre de la Société, deux exemplaires du *Compte rendu des opérations du service du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans, année* 1876.

De M. Monbro, membre de la Société, deux exemplaires de notes sur les *Différents systèmes pour river.*

De M. Jules Gaudry, membre de la Société, une note sur les *Railways de la Grande-Bretagne.*

De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de sa *Théorie de l'aberration dans laquelle il est tenu compte du mouvement du système solaire.*

De M. Thirion, membre de la Société, un exemplaire de la traduction du rapport de M. Thomas Webster au Congrès international des *Brevets d'invention*, tenue à l'Exposition universelle de Vienne en 1873.

De M. Hippolyte Fontaine, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur l'*Éclairage à l'électricité.*

De M. Biancani, ingénieur-architecte, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Ethnographie et statistique de la Turquie et de la Grèce.*

Digitized by Google

De M. Blanchet, membre de la Société, un exemplaire du rapport de MM. Pouchet et Sautereau, ingénieurs, sur les divers projets de *Canaux inter-océaniques par l'Isthme de Darien et le lac de Nicaragua.*

De M. Lavalley, membre de la Société, un exemplaire des rapports présentés aux membres de l'association sur les *Explorations géologiques faites en* 1875 *et* 1876 *sur le chemin de fer sous-marin entre la France et l'Angleterre.*

De M. Dupuis, membre de la Société, des exemplaires du *Procès-verbal de la séance de la Société de l'Industrie minérale, tenue à Montluçon le* 18 *février* 1877.

De M. Luciano Quaranta, ingénieur, un exemplaire d'une brochure intitulée : *Relazione della Commissione del Collegio degli Ingegneri in Milano sul progetto di ferrovie ad aria compressa.*

De M. Huguin, membre de la Société, deux exemplaires d'un mémoire sur le *Moyen pratique d'améliorer immédiatement la condition matérielle des populations ouvrières, et de fournir à la propriété foncière, rurale ou urbaine le capital à bon marché.*

De M. Séraphon, membre de la Société, un exemplaire de son *Manuel pratique de la construction des chemins de fer des rues et des chemins de fer sur routes, avec atlas.*

De M. Poillon, membre de la Société, un exemplaire de son *Cours théorique et pratique de chaudières et de machines à vapeur.*

De M. Blanchet, membre de la Société, des exemplaires du *Procès-verbal de la réunion du* 5 *mai* 1877 (*Canal maritime inter-océanique du Nicaragua*).

De M. Périssé, membre de la Société, une note sur une *Nouvelle formule approchée, mais très-simple, pour calculer les pièces en forme double* ⌶ *soumises à la flexion.*

De M. Thomas (Achille), ingénieur civil à Brest, un exemplaire d'une brochure sur l'*Art de se diriger la nuit en campagne.*

De la Société des forges de la Providence, à Marchienne, une brochure sur la *Voie métallique, système Hilf.*

De M. Léger, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur la *Ramie, nouveau textile soyeux.*

De M. Pontzen, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur un nouveau procédé pour l'*imprégnation du bois*, et diverses brochures en Allemand.

Digitized by Google

De M. Hachette et Ce, libraires, un exemplaire de l'*Agenda du chimiste* 1877.

Académie royale des Lincei, les numéros 5 et 6 de leur publication.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de janvier, février, mars et avril 1877.

Annales industrielles, les numéros de mars et avril 1877.

Annales des ponts et chaussées, les numéros de janvier et février 1877.

Annales des mines, le numéro de la 6e livraison de 1877.

Annales du Génie civil, les numéros de mars et avril 1877.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées, les numéros de mars et avril 1877.

Annales de la construction (Nouvelles), les numéros de mars et avril 1877.

Annales des chemins vicinaux, les numéros de mars et avril 1877.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, le numéro de son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, le numéro de son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine, les numéros de mai et juin 1877.

Comité des forges de France, les numéros 123 et 124 du bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, les numéros de mai et juin 1877.

Courrier municipal (journal), les numéros de mars et avril 1877.

Écho des Mines et de la Métallurgie (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Écho Industriel, les numéros de mars et avril 1877.

Économiste (L') (journal), les numéros de septembre 1877.

Encyclopédie d'architecture, les numéros de mars et avril 1877.

Digitized by Google

Engineering, les numéros de mai et juin 1877.

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago), les numéros de mars et avril 1877.

Gazette des Architectes, le numéros de mars et avril 1877.

Gazette du Village, les numéros de mars et avril 1877.

Iron journal *of science, metals et manufacture*, les numéros de janvier, février, mars et avril 1877.

Institution of civil Engineers, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1876.

Institution of Mechanical Engineers, les numéros du premier trimestre 1877 de son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, les numéros de leurs *Transactions*.

Journal d'Agriculture pratique, les numéros de mai et juin 1877.

Journal des Chemins de fer, les numéros de mai et juin 1877.

Journal de l'Éclairage au gaz, les numéros de mai et juin 1877.

Journal *of the American Society of Civils Engineers*, les numéros de janvier et février 1877.

Houille (*La*) (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, les numéros de janvier et février 1877.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, les numéros de janvier et février 1877 de son bulletin.

Moniteur des chemins de fer (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Moniteur industriel belge, les numéros de mai et juin 1877.

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture, les numéros de mars et avril 1877.

Moniteur des travaux publics (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (journal), le numéro 2 de 1877.

Portefeuille économique des machines, les numéros de mai et juin 1877.

Digitized by Google

Réforme économique, les numéros de mai et juin 1877.

Revue métallurgique (*La*), les numéros de mars et avril 1877.

Revue maritime et coloniale, le numéro de février 1877.

Revue d'architecture, les numéros 3 et 4 de l'année 1877.

Revista de obras publicas, les numéros de mars et avril 1877.

Revue des Deux Mondes, les numéros de mai et juin 1877.

Revue horticole, les numéros de mai et juin 1877.

Revue *les Mondes*, les numéros de mai et juin 1877.

Revue universelle des mines et de la métallurgie, le numéro de janvier 1877.

Société de Physique, le numéro de son bulletin du deuxième trimestre de l'année 1877.

Société des Ingénieurs anglais, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1876 et 1877.

Société industrielle de Reims, les numéros de son bulletin du premier trimestre 1877.

Société industrielle de Mulhouse, les numéros de janvier et février 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, les numéros du deuxième trimestre de 1877 de leur *Revue périodique*.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, le numéro du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société d'encouragement, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Société de géographie, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, les numéros du premier trimestre 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, le numéro du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, le deuxième numéro de son bulletin de 1877.

Digitized by Google

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, les numéros de son bulletin de mars et avril 1877.

Société scientifique industrielle de Marseille, le numéro du deuxième trimestre de 1877 de son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, les numéros 3 et 4 de 1877 de son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, le quatrième numéro de 1876 de son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, le tome XXVI de la quatrième série de son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin du deuxième trimestre de 1877.

Société industrielle de Rouen, le numéro du deuxième trimestre de l'année 1877 de son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, le numéro de son bulletin.

Semaine des constructeurs (journal *La*), les numéros de janvier et février 1877.

Semaine financière (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu, les numéros de mars et avril 1877.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, les numéros 1 et 2 de son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, le numéro du deuxième trimestre de 1877 de son bulletin.

The Engineer (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

Digitized by Google

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de juin :

MM. Camacho, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Mors.
Chausselle, présenté par MM. Crozet, Jordan et De Loriol.
Claret, présenté par MM. Carimantrand, Guérin de Litteau et Marché.
Drugmand, présenté par MM. Lecherf, Legrand et Masure.
Étienne, présenté par MM. Arson, Barrault et Loustau.
Finet, présenté par MM. Fraenkel, Lecherf et Thomas E.
Fockedey, présenté par MM. Le Gavriand, Loustau et Mathias Félix.
Henrich, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Knab, présenté par MM. Bouvard, Jordan et Love.
Kossuth, présenté par MM. Dallot, Richard et Rognetta.
Laprade, présenté par MM. Charbonnier, Love et Muller (Émile).
Love, présenté par MM. Bouvard, Jordan et Mathieu (Ferdinand)
Maisonneuve, présenté par MM. Guérin de Litteau, Marché et Piquet.
Merkl, présenté par MM. Loustau, Schivre père et Schivre fils.
Morel, présenté par MM. Blondel, Joubert et Lecellier.
Roger, présenté par MM. Durœux, Huet et Loiseau (Désiré).
Rousseau, présenté par MM. Guérard, Lebargy et Loustau.
Schmitz, présenté par MM. Arson, Goumet et Lemaréchal.
Vallot, présenté par MM. Dumont G., De Laborie et L. Rey.
Zimmer, présenté par MM. Cabany, Lecherf et Vellut.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Séance du 4 Mai 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ARSON, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 avril est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Alphonse Piquet vient d'être nommé commandeur de l'ordre de Charles III d'Espagne.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Cornet, ingénieur-directeur des travaux de la Société anonyme des charbonnages du Levant du Flénu :

« Monsieur le Président,

« Nous avons l'honneur de vous informer que l'*Association des Ingénieurs sortis de l'École des mines de Liége* a décidé de visiter, en août 1877, divers charbonnages dans le bassin du couchant de Mons, entr'autres ceux du Levant du Flénu, où l'on installe de puissantes machines à comprimer l'air. A cette occasion, la Société du Levant du Flénu mettra à la disposition des inventeurs et des constructeurs, les moyens d'expérimenter tous les appareils mécaniques quelconques mus par l'air comprimé, et destinés au travail à l'intérieur des mines. Les expériences auront lieu en présence de l'Association, qui chargera une Commission de lui faire, à ce sujet, un rapport à insérer dans ses Annales.

« On est prié de s'adresser, pour tous renseignements, à M. F.-L. Cornet, Ingénieur-Directeur des travaux, à Cuesmes.

« Veuillez bien recevoir, monsieur le Président, etc. »

L'ordre du jour appelle la communication de M. Gautier sur les aciers sans soufflures.

M. EUVERTE, directeur des usines de Terre-Noire devant être présent à la séance, M. Gautier est heureux de lui céder la parole.

Digitized by Google

M. Euverte dit que M. Gautier a fait récemment, à Londres, à l'*Iron and steel institute*, une communication sur la fabrication *des aciers coulés sans soufflures ;* à son retour à Paris, quelques membres de la Société des Ingénieurs civils lui firent observer qu'un travail analogue présenterait un certain intérêt pour cette Société.

M. Gautier pensa qu'il pourrait être convenable de tenir compte de cette observation, et obtint à cet effet l'autorisation de la Compagnie de Terre-Noire.

La question qu'il s'agit d'exposer est simple en elle-même, et se présenterait sous une forme assez restreinte si je n'avais d'autre but que de vous faire connaître purement et simplement un résultat industriel atteint.

Mais je suis porté à penser que nos réunions n'ont pas seulement pour but la constatation de faits nouveaux, scientifiques ou industriels; je crois que, dans certains cas, nous devons rechercher une instruction un peu plus générale, un peu plus philosophique, si je puis m'exprimer ainsi, et que, sous ce rapport, le côté historique doit prendre, au point de vue industriel, une très-sérieuse importance.

L'histoire d'une idée, les diverses transformations qu'elle subit avant d'arriver à une formule définitive, les erreurs auxquelles on peut se laisser entraîner en la poursuivant, sont autant de particularités dont l'étude présente, à mon avis, un véritable intérêt pour tous ceux qui sont voués aux occupations et aux recherches industrielles.

Je me propose donc, dans la question qui nous occupe aujourd'hui, de vous faire connaître, en même temps que la solution qui a été obtenue, les origines et l'historique des faits qui l'ont amenée. Cette méthode m'obligera à vous demander un peu plus de temps, mais nous aurons un travail plus complet et plus intéressant, et vous me pardonnerez, en faveur du motif, la longueur et peut-être aussi le désordre de l'exposé que je me propose de vous faire.

Origines de la question. — Projectiles en fonte trempée.

C'est à l'Exposition de 1867 qu'il faut rechercher les origines de la question qui nous occupe aujourd'hui.

Un certain nombre de ceux qui assistent à cette réunion se rappelleront avoir vu, à l'Exposition de 1867, des projectiles de grosse dimension, qu'on disait être de la fonte trempée en coquille, avec lesquels, disait-on, on traversait les cuirasses de navires.

Ce métal, connu sous le nom de *métal Gruson*, causait un profond étonnement à tous ceux qui s'occupaient de métallurgie.

Jusqu'alors, il était admis en matière de fonte que dureté était synonyme de fragilité. Tous ceux qui ont employé des laminoirs en fonte trempée pour la fabrication des tôles minces savent, par expérience, combien il est difficile d'obtenir à la fois la ténacité et la dureté; il y avait donc lieu, je le répète, d'être étonné des qualités attribuées à ce métal Gruson.

Digitized by Google

Il faut ajouter que la marine française avait essayé ces projectiles, et que, bien positivement, en les lançant avec des vitesses convenables, on arrivait à la perforation des cuirasses de navires les plus épaisses connues alors.

L'artillerie de la marine se préoccupa sans retard de rechercher par quels moyens une fabrication semblable pourrait être organisée en France, et des tentatives furent faites dans un certain nombre d'usines.

On est obligé de constater que plusieurs usines, disposant de fontes de qualités supérieures, ne réussirent pas à produire le métal à la fois dur et résistant.

Il nous parut que, pour arriver à cette solution, des moyens nouveaux étaient indispensables; nous commencions vers cette époque à employer le four Siemens, dont chaque jour nous révélait les merveilleuses propriétés, et nous pensâmes que peut-être, avec l'aide de ce précieux appareil, il serait possible d'arriver au résultat désiré.

L'examen des divers types de ces projectiles en fonte dure révélait dans le mode de fabrication des différences assez sensibles. Les projectiles Gruson étaient entièrement coulés en coquille et, par suite, le corps cylindrique était trempé absolument comme l'ogive; ceux qui étaient fabriqués à l'usine de Gradatz (Styrie), ou à celle de Finspong (Suède), avaient été coulés de telle sorte que la partie ogivale était seule coulée en coquille, la partie cylindrique étant moulée en sable, suivant la méthode ordinaire.

Il était assez difficile, au premier abord et d'après l'examen de ces types, de déterminer quel était le mode de fabrication qu'il serait préférable d'adopter.

Il n'est pas facile de soumettre la fonte dure à des expériences de traction, le métal ne se prêtant pas au travail à l'outil nécessaire pour en faire des barrettes. Il fallait donc renoncer à une étude de cette nature.

D'un autre côté, l'expérience directe n'est guère plus praticable pour les usines. Il n'est pas facile d'avoir à sa disposition un canon de 24 centimètres et un massif blindé pour faire des essais de perforation.

Il fallait donc, pour arriver à se faire une idée du mode de fabrication à adopter, employer une méthode d'expérimentation *indirecte*, de manière à mettre en lumière quelques-unes des propriétés physiques du métal obtenu, sauf à conclure ensuite, par une sorte de méthode inductive, à l'application possible de ce métal à la fabrication des projectiles.

Il nous apparut tout d'abord que l'essai au choc était celui qui se rapprochait le plus de la nature des efforts auxquels devait être soumis le métal à produire, et c'est sous cette forme que furent faits les premiers essais.

Il fallait de plus, que ces essais au choc fussent pratiqués sur des pièces ayant à peu près la forme qu'on se proposait d'obtenir; il fut donc décidé que les morceaux soumis à l'épreuve seraient des cylindres de 225 millimètres de diamètre, posés sur deux points d'appui espacés de 50 centimètres et reposant sur une enclume en fonte du poids de 10,000 kilogrammes; un mouton de 600 kilogrammes devait tomber de hauteurs variables au milieu de l'intervalle compris entre les points d'appui.

Digitized by Google

Il était important de fixer nos idées sur un premier point; quelle est la différence de résistance entre la fonte coulée en sable, suivant les procédés ordinaires et la fonte trempée en coquille?

Plusieurs coulées furent faites en vue d'apporter la lumière sur cette première partie de la question, et les produits en provenant furent soumis à l'épreuve indiquée plus haut. Les pièces cylindriques de 225 millimètres de diamètre furent soumises au choc du mouton de 400 kilogr., élevé successivement à la hauteur de 0m.50 centimètres, 1 mètre, 1m.50, etc., jusqu'à rupture.

Voici les résultats des expériences faites sur ces premières coulées:

DÉSIGNATION.	FONTE COULÉE en sable.	FONTE COULÉE en coquille.
Fonte de Bessèges, rupture à.....	1m.00	1m.50
Fonte de Saint-Gervais, rupture à.....	1 .50	1 .50

Nous avions choisi, pour faire ces épreuves préliminaires, des fontes considérées comme très-résistantes, et nous arrivions à constater que la trempe en coquille amoindrissait la résistance au choc dans une proportion considérable.

Nous retrouvions ici un fait déjà connu, et il devenait évident que pour arriver à la solution du problème poursuivi, il fallait employer des moyens spéciaux dont la pratique n'était point encore entrée dans la grande industrie métallurgique.

Une analyse faite sur un projectile provenant de l'usine de Gradatz, nous avait permis de constater que la teneur en carbone était de 2.94 pour 100; cette teneur très-faible nous donnait l'indication qu'on avait pris pour point de départ une fonte très-peu carburée, ou bien que, par un artifice quelconque, on en avait diminué le degré de carburation.

L'emploi de fontes à faible dose de carbone nous paraissait assez dangereux, au point de vue de la trempe en coquille, qui devient d'autant plus énergique que la fonte est moins carburée.

Nous avions constaté, ainsi qu'on peut le voir par les résultats d'épreuve relatés ci-dessus, que la fonte de Saint-Gervais, moins grise et plus résistante que celle de Bessèges, à l'état de lingot coulé en sable, tombait au même niveau après la trempe en coquille; nous pensions que la réduction de résistance serait encore plus considérable pour une fonte moins carburée, et il nous parut plus sûr de prendre, pour point de départ, des fontes très-grises, dont la teneur en carbone serait amoindrie par un autre procédé.

C'est alors que, grâce à l'emploi du four Siemens et des hautes températures qu'il permet d'obtenir, il nous parut possible d'appliquer, sans trop d'inconvénients, un artifice employé depuis longtemps par certains fondeurs, pour arriver à augmenter la résistance de la fonte, et qui consiste

Digitized by Google

à ajouter dans le bain, avant la coulée, une certaine quantité de riblons de fer ou d'acier.

Un certain nombre de coulées faites avec des fontes différentes, et avec des additions variables de rognures d'acier, donnèrent les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	COULÉE en sable.	COULÉE en coquille.
Coulée n° 622. 750 kil. fonte de Terre-Noire et 300 kil. riblons d'acier. Rupture à.....	5.50	3.50
Coulée n° 832. 750 kil. fonte de Saint-Gervais et 300 kil. riblons d'acier. Rupture à..	4.75	2.50
Coulée n° 688. 750 kil. fonte de Givors et 300 kil. riblons d'acier. Rupture à.....	4.00	3.00
Coulée n° 879. 750 kil. fonte de Givors et 300 kil. riblons d'acier. Rupture à.....	4.00	5.50

Ces résultats peuvent donner lieu aux observations suivantes :

1° D'une manière générale, la résistance de la fonte coulée en sable est améliorée par l'addition d'une certaine proportion de riblons pendant la fusion. On peut même ajouter, et des expériences ultérieures l'ont démontré, que sous une autre forme que celle de pièces d'un assez gros diamètre, l'amélioration est encore plus marquée.

2° La résistance après la trempe en coquille est améliorée dans des proportions très-notables, puisque la rupture qui était pour la fonte seule à $1^m.50$ s'élève, après addition, jusqu'à $5^m.50$ et ne descend pas au-dessous de $2^m.50$.

Ces expériences préliminaires nous donnaient donc un résultat fort intéressant au point de vue de la solution que nous poursuivions puisque nous constations tout à la fois une augmentation de résistance pour le métal coulé en sable, et une atténuation très-considérable des effets nuisibles de la trempe en coquille.

Mais cette étude, en nous donnant de précieux renseignements sur le but que nous poursuivions, nous fournissait d'autres indications non moins importantes, relativement à la solution du problème *du coulage de l'acier sans soufflures*, problème que nous ne poursuivions pas alors, et dont la solution a été obtenue postérieurement.

Si l'on examine le tableau d'épreuves au choc relaté ci-dessus, on constate, après la trempe en coquille, des différences considérables dans les résultats, bien que, pour le métal coulé en sable, les limites de rupture présentent une certaine régularité.

Notre attention fut naturellement appelée par ces différences considérables, et un examen approfondi nous révéla que les résistances les plus élevées correspondent aux coulées pour lesquelles le point de départ a été une fonte contenant une plus grande proportion de silicium.

Digitized by Google

La coulée n° 832, faite avec de la fonte de Saint-Gervais, produisit un métal sur lequel la trempe en coquille amena une diminution de résistance bien plus sensible que dans le métal des autres coulées.

Nos constatations à l'analyse chimique indiquèrent que la fonte de Saint-Gervais ne contenait point de silicium ; nous constations, de plus, que le métal blanchissait plus vite sous l'influence des additions de riblons, et, dans ce cas, la trempe en coquille est plus vive et la résistance diminue.

La coulée n° 622 est faite avec de la fonte contenant une dose de 2.25 pour 100 de silicium, le métal obtenu après les additions reste gris foncé, et la résistance est augmentée, aussi bien pour le métal coulé en sable que pour celui coulé en coquille.

La fonte de Givors, employée pour la coulée n° 688 contenait seulement 1.36 pour 100 de silicium, alors que celle de la coulée n° 879 en contenait 3.22 pour 100. On peut juger par le métal obtenu dans les deux coulées, de l'influence de la composition chimique des fontes.

Pour la coulée 879, on a pu augmenter sensiblement la proportion de riblons ajoutés, et le métal trempé en coquilles a été rompu seulement sous le choc de 5^{m}.50, alors que celui coulé en sable est arrivé à rupture à la hauteur de quatre mètres.

De nombreuses expériences, qu'il nous paraît inutile de relater ici, montrèrent que ces résultats sont régulièrement obtenus, et sont toujours en rapport avec la teneur en silicium des fontes employées.

Nous avons constaté, de plus, dans le cours de ces expériences, que les additions de riblons, lorsqu'elles dépassent une certaine proportion, amènent inévitablement des soufflures dans le bain ; le moment où apparaissent ces soufflures varie avec la proportion de silicium contenue dans les fontes.

Ce fait est d'ailleurs absolument corrélatif de celui que nous avons constaté relativement à la résistance du métal coulé. Sous l'empire des additions de riblons, la résistance de la fonte augmente, et continue d'augmenter jusqu'à un maximum qui représente précisément le maximum de poids que la fonte peut supporter sans arriver à un commencement de boursoufflement déterminé par l'oxydation. Au moment où commence ce boursoufflement, la résistance diminue dans une proportion très-rapide, et l'on perd tous les avantages des additions de riblons.

Tous ces faits, amenés à notre connaissance presque par hasard, avaient une très-réelle importance ; il en résultait une lumière très-vive et très-saisissante sur l'action que pouvait avoir le silicium, aussi bien au point de vue de la solution immédiate que nous poursuivions, qu'à un point de vue plus général et plus important, concernant la production de l'acier sans soufflures.

La réflexion nous amena, d'ailleurs, à reconnaître que cette action du silicium était dans la nature des choses, et que peut-être on aurait dû la prévoir *à priori*, en tenant compte des faits qui se produisent dans l'opération Bessemer.

Digitized by Google

Lorsqu'on traite des fontes siliceuses à l'appareil Bessemer, on constate ce fait, bien connu, de l'absence de toute espèce de flamme pendant toute la durée de la combustion du silicium contenu dans la fonte. C'est, qu'en effet, l'oxydation du silicium produite par le courant d'air ne se traduit point par un dégagement gazeux, mais par une production de silice; le dégagement d'oxyde de carbone ne se produit qu'après l'oxydation complète du silicium, et c'est alors, et seulement sous l'empire de ce dégagement gazeux, que le métal coulé présente de nombreuses soufflures.

Dans l'appareil Bessemer, l'oxydation est produite par le courant d'air, dans les opérations faites au four Siemens et décrites plus haut, cette oxydation est produite par les additions successives de riblons; dans les deux cas on arrive à un résultat identique, et l'action du silicium se trouvait absolument démontrée pour nous par la contre-épreuve que le hasard nous avait amenés à faire dans le four Siemens, et dans laquelle les faits étaient constatés au moment même où ils se produisaient.

Ces expériences préliminaires nous paraissaient donc avoir produit un résultat important en ce qui concerne la production des projectiles en fonte dure.

Nous avions constaté que, sous l'empire de certaines circonstances, la résistance du métal coulé en sable est sensiblement accrue, et que, d'autre part, cette résistance est moins altérée par la trempe en coquille.

Nous constations, d'un autre côté, que le métal ainsi obtenu contenait en carbone une proportion de 2.42 pour 100; nous avions donc produit un *métal mixte*, intermédiaire entre la fonte et l'acier, devant, à notre avis, remplir les conditions nécessaires pour la fabrication des projectiles.

Nous pouvions, avec ce métal mixte, couler en sable la partie cylindrique du projectile, et tremper seulement la pointe; nous nous arrêtâmes à cette solution.

Toutefois, avant de soumettre des projectiles aux essais de tir, nous pensâmes qu'il convenait de fixer d'une manière plus précise les propriétés physiques du métal que nous nous proposions d'employer; cette précaution nous paraissait indispensable, en vue d'avoir, pour suivre la fabrication courante, un *critérium* aussi exact que possible.

Il nous paraissait nécessaire de faire sur chacune des coulées un essai par flexion et un essai au choc. A cet effet, il fut décidé que chaque coulée donnerait deux barreaux carrés de 120 millimètres de côté, destinés aux épreuves dont il vient d'être question.

Pour les épreuves de flexion, le barreau est posé sur deux points d'appui, espacés de un mètre; au milieu de l'intervalle s'exerce la pression, exactement comme cela se pratique pour les épreuves de rails.

Pour les épreuves au choc, le barreau est posé librement sur deux points d'appui, espacés de $0^m.40$ centimètres, reposant sur une enclume en fonte de 10 000 kilogr.; un mouton de 100 kilogr. tombe de hauteurs variables au milieu de l'intervalle.

Digitized by Google

Voici les résultats moyens des épreuves faites sur soixante coulées obtenues dans diverses conditions :

DÉSIGNATION.	ÉPREUVES PAR FLEXION.			ÉPREUVE AU CHOC.
	Flèche sous charge.	Flèche permanente.	Charge de rupture.	Hauteur de rupture.
	millimètres.	millimètres.	kilogrammes.	mètres.
6 coulées de fonte.....	5.5	1.3	24.500	0.98
20 coulées métal mixte.....	5.5	0.9	39.200	2.25
34 coulées métal mixte avec addition de 0.72 °/₀ de tungstène.	5.5	0.8	48.000	2.90

Ces épreuves confirment les résultats obtenus dans nos opérations préliminaires et peuvent donner lieu aux observations suivantes :

1° Le métal mixte présente sur la fonte seule une supériorité incontestable, aussi bien à l'épreuve de flexion qu'à celle du choc.

On remarquera, en effet, que la charge de rupture est de 39,200 kilogrammes pour le métal mixte et de 24,500 pour la fonte seule ; que la rupture au choc se produit à une hauteur de $0^{m}.98$ centimètres pour la fonte seule, et qu'elle s'élève à $2^{m}.25$ pour le métal mixte. La supériorité de ce dernier métal est donc bien constatée.

2° Dans un certain nombre de coulées, nous avions ajouté la proportion de wolfram grillé, nécessaire pour introduire 0.72 p. 100 de *tunsgtène* dans le métal mixte. Nous avons constaté aux épreuves une augmentation de résistance très-considérable, puisque la charge de rupture s'élève à 48,000 kilogrammes, et la hauteur de chute du mouton à $2^{m}.90$ centimètres.

3° La constatation des flèches sous charge à la flexion semble indiquer qu'il y a un rapport constant entre la *roideur* du métal et le poids de rupture, aussi bien à la flexion qu'au choc.

En effet, la flèche sous charge au moment de la rupture a été dans tous les cas de $5^{mm}.5$, ce qui semble indiquer que cette flèche est une limite supérieure qu'il est impossible de dépasser pour le métal coulé dans ces conditions.

Les flèches permanentes, au contraire, ont été variables, et paraissent confirmer le fait d'une liaison intime entre l'élasticité du métal et sa résistance.

Les charges les plus élevées correspondent aux flèches permanentes moindres, et l'on s'explique ainsi que pour arriver à une flèche maximum de $5^{mm}.5$ le métal ait pu supporter 24,500 kil., 39,200 kil. et 48,000 kil., suivant que la flèche permanente était $1^{mm}.3$, $0^{mm}.9$ et $0^{mm}.8$.

Cette deuxième série d'épreuves nous avait absolument confirmé les résultats des épreuves préliminaires, et le moment nous parut venu de soumettre des projectiles à l'épreuve décisive du tir.

Le 13 décembre 1869, deux boulets de 24 centimètres, du poids de

Digitized by Google

144 kilogrammes, furent essayés à Gâvres, sur des plaques de 15 centimètres, avec une vitesse au choc de 316 mètres.

Voici l'opinion de la Commission de Gâvres sur ce premier essai :

« Les deux boulets massifs, de 24 centimètres, ont traversé la muraille « cuirassée de 15 centimètres sans éprouver de dégradation ou de défor- « mation d'aucune sorte.

« En présence de ces résultats, la Commission déclare qu'ils sont d'ex- « cellente qualité et supérieurs à tous ceux essayés antérieurement.

« En raison de la grande résistance qu'ils paraissent posséder, elle pense « qu'il y aurait un grand intérêt à soumettre à l'*épreuve du tir oblique* des « boulets analogues. »

Ce premier résultat, très-satisfaisant, était la justification indiscutable de la méthode inductive que nous avions été obligés d'employer et des hypothèses que nons avions dû faire sur la relation à établir entre l'épreuve du tir et les essais mécaniques faits dans nos usines.

Le 18 janvier 1870, des *obus* de 23 centimètres, du même métal, furent soumis à l'essai du tir normal, sur plaques du 15 centimètres, avec des vitesses au choc de 321 et 313 mètres. Voici quelle fut, sur cette deuxième épreuve, l'opinion de la Commission :

« Les deux obus oblongs, de 24 centimètres, soumis au tir ont traversé « la muraille cuirassée de 15 centimètres sans éprouver de déformation ou « de dégradation d'aucune sorte.

« En présence de ces résultats, la Commission déclare qu'ils sont de « qualité supérieure.

« En présence de la grande résistance qu'ils paraissent offrir, elle pense « qu'il y aurait intérêt à les soumettre *à l'épreuve au tir oblique.* »

Les premiers résultats se trouvaient confirmés par cette deuxième épreuve, plus concluante que la première, puisqu'il s'agissait d'obus, et nous pouvions considérer cette question comme résolue, autant qu'elle pouvait l'être alors.

Nous devons ajouter qu'une solution analogue avait été obtenue par l'usine de Saint-Jacques, à Montluçon, appartenant à la grande Société des usines de Châtillon et Commentry.

Nous ne savons si, dans cette usine, on était arrivé à la solution par des moyens identiques à ceux que nous avons indiqués; cela importe d'ailleurs assez peu, et nous pensons qu'il existe plusieurs moyens pour arriver au résultat.

On peut affirmer, dans tous les cas, que dès cette époque les usines allemandes et suédoises étaient devancées par les usines françaises, et c'était là un résultat important, au point de vue de notre marine nationale.

Depuis lors, l'usine de Saint-Jacques a obtenu dans cette fabrication des succès auxquels il importe de rendre justice. Ce même boulet de 24 centimètres, qui, au début, traversait la plaque de 15 centimètres, a traversé depuis la plaque de 22 centimètres, avec une vitesse au choc de 390 mè-

Digitized by Google

tres; c'est là, comme on peut le voir, un progrès considérable sur les premiers résultats, qui étaient cependant déjà considérés comme très-satisfaisants, ainsi qu'on a pu le constater par les rapports de la Commission de Gâvres.

Nous venons de voir dans les extraits des procès-verbaux de la Commission de Gâvres, que, par deux fois, cette Commission avait insisté pour que des projectiles analogues à ceux déjà essayés subissent l'*épreuve du tir oblique*.

Un essai fut effectivement fait dans ce sens à la date du 19 avril 1870. On tira deux boulets de 24 centimètres obliquement, sous l'incidence de 20 degrés, sur une plaque de 15 centimètres, avec des vitesses au choc de 350 à 360 mètres; les boulets traversèrent la muraille cuirassée et *furent brisés* en traversant.

Depuis lors, d'autres essais ont été faits; on a pu traverser, au tir oblique, la plaque de 22 centimètres avec un boulet de 24 centimètres, lancé à la vitesse de 438 mètres au choc; mais les boulets ont toujours été brisés.

Lorsqu'il s'agit d'un boulet, il n'y a pas grand inconvénient à ce qu'il se brise, pourvu que la muraille cuirassée soit traversée; mais s'il s'agit d'un obus, il est absolument nécessaire d'éviter, autant que possible, la rupture, qui a pour effet d'annuler la puissance explosive de l'obus.

Insuffisance du métal mixte. — Nécessité de produire de l'acier coulé sans soufflures.

Il faut bien reconnaître, cependant, que le véritable *desideratum*, pour l'artillerie de marine, est l'obus assez résistant pour traverser les murailles cuirassées sous une certaine incidence, et nous sommes obligés de constater que la fonte dure ne peut donner satisfaction à cette nécessité.

Si, en effet, on examine ce qui se passe dans le tir oblique, on constate que le projectile, en traversant, cherche à se redresser pour trouver la ligne de moindre résistance; il se produit alors un véritable choc en travers, et si le métal ne présente pas une certaine ductibilité, s'il ne peut prendre un certain allongement avant rupture, le projectile est inévitablement brisé. Ceci est vrai pour un boulet, et encore plus vrai pour un obus, dont les parois sont très-amincies dans la partie cylindrique.

L'artillerie de marine, tout en se montrant satisfaite des résultats obtenus avec la fonte dure, nous répétait donc avec insistance que le problème n'était pas complétement résolu, et qu'il pouvait y avoir un intérêt considérable à chercher le moyen de produire *les obus pouvant traverser les murailles cuirassées au tir oblique*.

Nous pensions, en effet, comme l'artillerie de marine, que la solution à laquelle nous étions arrivés était incomplète; nous avions constaté, dans le cours de nos expériences, certains faits chimiques très-intéressants, signalés plus haut, qui nous paraissaient avoir une importance considérable, au

Digitized by Google

point de vue de l'acier coulé, et nous résolûmes d'entreprendre de nouvelles études, en vue d'arriver à une solution complète et définitive.

La production d'un obus destiné à la perforation des murailles cuirassées au tir oblique nous paraissait, d'ailleurs, devoir être un champ d'études très-intéressant, dont les données se présentaient avec une certaine précision.

Il fallait arriver à produire un métal assez dur pour ne pas trop se déformer, et en même temps assez ductile et résistant pour ne point se briser sous l'effort du tir oblique.

De nombreuses tentatives avaient été faites dans le passé, pour arriver à produire ces obus par le forgeage suivi d'une trempe. Mais il avait été jusqu'alors impossible d'arriver à un résultat pratiquement industriel.

On tombait inévitablement dans l'un de ces deux inconvénients : ou bien l'on avait un métal trop doux, qui se déformait dans des proportions considérables, absorbant ainsi toute la force vive, et ne pouvant traverser la muraille; ou bien l'on obtenait un acier très-difficile à forger, amené par le forgeage et par la trempe à un état instable très-fragible, et, par suite, ne pouvant supporter, sans se briser, le choc de la plaque.

Il nous sembla qu'un acier coulé dans de bonnes conditions, et obtenu sans soufflures, devait pouvoir répondre aux conditions du programme. C'est dans ce sens que nous résolûmes de poursuivre nos études.

Nous avions remarqué, dans le cours de nos recherches, l'action très-efficace du silicium pour empêcher les soufflures de se produire dans l'acier. Nous étions arrivés, par des expériences très-nombreuses, à la conviction que plus une fonte est siliceuse, plus est considérable la quantité de fer ou d'acier qu'on peut lui faire supporter sans amener l'état d'oxydation qui produit immédiatement les soufflures.

Cette faculté d'addition de matières dans un bain de fonte a pour effet d'oxyder le silicium et de diminuer la proportion de carbone dans le métal restant, et il nous apparaissait, dès lors, qu'il était possible de produire, entre la fonte et l'acier doux, tous les degrés de carburation, et, par suite, toutes les nuances d'acier qu'il pouvait être nécessaire d'obtenir.

Nous connaissions déjà un intermédiaire, *le métal mixte*, dont la teneur en carbone varie de 2 à 2.5 pour 100, il s'agissait d'aller plus loin dans cette voie, et de produire des alliages de moins en moins carburés.

Quelques expériences et un nouvel examen nous amenèrent rapidement à constater que le but serait atteint en appliquant la méthode par laquelle nous avions fabriqué le métal mixte.

Nous n'avions pas alors de fonte contenant plus de 5 à 6 pour 100 de silicium, et même avec cette teneur élevée, l'oxydation se produisait toujours dans le bain à un moment où le métal n'était point assez décarburé, On arrivait ainsi à un métal plus ou moins boursoufflé, n'ayant aucune résistance, et inférieur en qualité au métal mixte.

Avec des fontes encore plus siliceuses, auxquelles on avait ajouté une certaine dose de manganèse, pour augmenter les moyens d'absorber l'oxy-

Digitized by Google

dation, on pouvait obtenir un métal de qualité convenable; nous avons procédé ainsi, et nous avons pu arriver à des produits passables. Mais cette méthode manque de sécurité, il est fort difficile d'apprécier la composition du bain à la fin de l'opération, et il nous parut nécessaire de procéder autrement afin d'arriver à un résultat certain et régulier.

La méthode à laquelle nous devions avoir recours se trouvait dès lors naturellement indiquée, elle devait consister, suivant la pratique admise de la fabrication de l'acier au four Martin-Siemens, à produire dans le four du fer doux, aussi décarburé que possible, et ajouter, à la fin de l'opération, la quantité de fonte siliceuse nécessaire pour absorber l'oxydation.

L'application de ces principes demanda tout d'abord quelques tâtonnements préliminaires, et finalement nous arrivâmes à reconnaître que pour obtenir l'acier coulé sans soufflures, il fallait ajouter au bain métallique oxydé, une proportion de 11 à 12 pour 100 de fonte siliceuse contenant une proportion de 3.5 à 4 pour 100 de silicium, ce qui correspond à une addition de 0.40 à 0.45 pour 100 de silicium, et de 0.45 à 0.48 pour 100 de carbone.

Cette proportion varie suivant le degré de dureté qu'on veut obtenir, et suivant l'état du bain au moment où l'addition est faite; on peut admettre, toutefois, qu'il ne faut en aucun cas sortir des limites que nons venons d'indiquer, le métal obtenu se trouvant ainsi à la dureté convenable au point de vue de la fabrication des projectiles.

Le métal ainsi obtenu était régulièrement sans soufflures; soumis à des essais de traction, il donnait à l'état brut.

Limite d'élasticité. . . .	31 à 33 kilogrammes.
Charge de rupture. . . .	48 à 49k.5.
Allongement.	1.5 pour 100.

Le même métal essayé après trempe à l'huile, donnait :

Limite d'élasticité. . . .	60 à 65 kilogrammes.
Charge de rupture. . . .	70 à 80 —
Allongement	0.20 à 0.30 pour 100.

C'était, ainsi que l'indiquent ces résultats, un métal très-dur, qu'il n'aurait pas fallu songer à appliquer à une fabrication autre que celle des projectiles.

Ces nouvelles expériences avaient demandé un certain temps, nous avions d'ailleurs été retardés par les tristes événements des années 1870 et 1871, et ce fut seulement au milieu de l'année 1872 qu'il nous fut possible de faire un premier essai de projectiles provenant de cette fabrication.

Nous ne voulions aborder que successivement les difficultés du nouveau problème à résoudre. Les premiers essais portèrent donc sur des boulets destinés au tir normal.

Ces boulets, du diamètre de 24 centimètres, furent essayés bruts, sans aucune espèce de trempe, nous avions craint les ruptures intérieures en soumettant à la trempe une pièce aussi massive d'un acier très-dur.

Digitized by Google

Le tir eut lieu normalement sur un massif en bois de 80 centimètres, recouvert de plaques de 20 centimètres, avec une vitesse de 366 mètres au choc.

Les boulets traversèrent sans aucune rupture, mais il se produisit, pendant la perforation, des déformations assez considérables; l'ogive du boulet subissait une certaine déviation, et l'on constatait un refoulement variant dans les limites de 30 à 45 millimètres.

Il est important de faire remarquer que ce refoulement portait exclusivement sur la partie ogivale, et qu'il n'avait point pour conséquence un gonflement considérable de la ceinture du projectile, ainsi que cela avait lieu dans le tir des projectiles en acier forgé.

Un premier résultat, déjà fort encourageant, ne paraissait pas suffisant à l'artillerie de marine, un peu effrayée des déformations qui absorbent, en pure perte, une partie de la force vive du projectile; il fallait donc, avant d'aborder l'obus et le tir oblique, faire quelques recherches nouvelles, en vue d'arriver à produire un métal un peu plus dur, tout en conservant une résistance suffisante au choc.

Le procédé de fabrication auquel nous nous étions définitivement arrêtés pour produire l'acier coulé sans soufflures, présentait quelques inconvénients que nous n'avions pas pris au sérieux tout d'abord, et qu'il devenait nécessaire d'examiner de plus près.

Le métal manquait de fluidité, coulait très-difficilement, subissait assez mal le travail de forgeage, et ces divers inconvénients se produisaient malgré la température élevée à laquelle on avait toujours soin de maintenir le bain métallique.

Une étude particulière de cette question, nous montra que cet état pâteux du métal était causé par l'addition de fonte siliceuse. Le silicium, ainsi que je l'ai expliqué précédemment, se transforme en silice et empêche les dégagements gazeux qui produisent les soufflures; mais cette silice, en présence d'une quantité de fer considérable, se transforme en silicates qui, pour la plus grande partie, restent mélangés au bain métallique. De là provient, sans aucun doute, le manque de fluidité constaté, et aussi une infériorité notable de qualité, soit au point de vue de la résistance, soit au point de vue du forgeage; on comprend aisément, d'ailleurs, qu'une certaine quantité de scorie interposée dans le métal, doit diminuer les qualités générales de la matière; il me paraît à peine nécessaire d'insister sur ce point.

Cet inconvénient bien constaté, il nous apparut que l'on devait arriver à l'atténuer dans une très-large proportion, et peut-être à le faire disparaître d'une manière complète, en augmentant, dans les limites du possible, la fluidité de la scorie. Pour arriver à ce résultat, le moyen le plus naturel était, dans notre opinion, l'addition d'une certaine dose de manganèse, qui devait rendre le bain plus fluide et permettre ainsi la séparation plus complète de la scorie.

La proportion de manganèse ajoutée contribuait pour sa part, à l'ab-

Digitized by Google

sorption de l'oxyde de fer contenu dans le bain, et il devenait possible, par suite, de réduire dans une certaine proportion, les additions de silicium.

Indépendamment de cette addition de manganèse, faite à la fin de l'opération, il nous parut nécessaire d'en introduire une certaine dose dans le bain primitif; en agissant ainsi, l'oxydation totale était diminuée dans une très-grande proportion, et il nous devenait possible de réduire encore les additions finales.

Nous arrivâmes ainsi à ajouter, au commencement de l'opération, une proportion de manganèse, représentant environ 4 à 5 millièmes de la quantité totale de matière introduite dans le four. L'addition de manganèse à la fin de l'opération représentait environ *un pour cent* de cette même quantité totale.

Dans ces conditions, l'addition des fontes siliceuses se trouvait réduite à la proportion de 8 à 9 p. 100 de fonte, contenant de 0.45 à 0.50 p. 100 de silicium, et 0.30 à 0.33 p. 100 de carbone.

Toutes ces modifications dans la manière d'opérer, dont l'exposé représente aujourd'hui quelques minutes, ne s'étaient produites en pratique qu'à la suite de nombreuses et minutieuses expériences auxquelles il fallut donner un temps considérable.

Ce fut donc seulement dans le courant de l'année 1875 que nous arrivâmes à produire un acier sans soufflures, dont les qualités nous paraissaient convenir à la fabrication de l'*obus de rupture devant résister au tir oblique*.

Influence du manganèse sur la qualité des aciers coulés. Effets de la cristallisation.

Il n'est pas sans intérêt de nous arrêter un instant sur deux faits particuliers qui avaient exercé une influence considérable sur la solution à laquelle nous pensions être arrivés.

Les additions de manganèse avaient amené une amélioration considérable à tous égards dans le métal produit. Cette amélioration résultait non-seulement du fait de la plus grande fluidité du bain métallique, amenant une séparation plus complète de la scorie, mais encore *de l'incorporation au métal d'une certaine quantité de manganèse*.

Au mois de février 1874, ayant à traiter, devant la Société des Ingénieurs civils, l'action que pouvait avoir le manganèse incorporé à l'acier, j'avais déclaré que, jusque-là, nous avions considéré l'influence du manganèse comme exclusivement *indirecte* dans la fabrication de l'acier, et que nous n'avions point examiné les effets de son incorporation au métal.

C'était là une erreur que je n'étais pas seul à commettre, car, jusqu'à cette époque, en effet, les plus savants métallurgistes n'attachaient aucune importance à l'action du manganèse sur l'acier, quelques-uns même la

Digitized by Google

déclaraient nuisible, et c'est à peine, d'ailleurs, si l'analyse chimique avait constaté l'existence de ce corps dans les aciers.

Depuis lors, de nouvelles études, rendues publiques à la Société de l'Industrie minérale, à Saint-Étienne, et publiées dans le Bulletin de cette Société, ont démontré que le manganèse, incorporé à l'acier, exerce sur les qualités de ce métal une influence considérable.

Voici quelles étaient, en ce qui concerne l'influence du manganèse, les conclusions d'une communication faite en 1875, au Congrès de l'industrie minérale à Saint-Étienne :

1° La présence du manganèse dans les aciers augmente très-sensiblement leur ténacité; pour un allongement égal, la résistance à la traction est élevée dans une large proportion;

2° Lorsque la teneur en manganèse ne dépasse pas une certaine proportion, un à un et demi pour cent, par exemple, la résistance au choc est également accrue; la *roideur* paraît un des caractères particuliers des aciers manganésés;

3° Le manganèse *accroît d'une manière très-sensible la faculté de trempe* des aciers, et si l'on veut obtenir des aciers prenant une trempe vive et fixe, il faut y introduire du manganèse.

Après avoir constaté et formulé ces divers effets du manganèse dans les aciers corroyés, nous les avions également retrouvés dans les aciers coulés sans soufflures; mais ici la constatation n'avait pas été facile par suite d'un fait qu'il me paraît important de signaler.

Dans le but de nous rendre compte régulièrement de la qualité des aciers sans soufflures et de leurs diverses propriétés physiques, nous avons toujours fait, sur chaque coulée, des essais de traction et de choc.

Les barrettes soumises à l'essai de traction ont généralement un diamètre de 15 millimètres, et la distance entre les repères destinés à constater l'allongement est de 10 centimètres.

Les épreuves faites sur un grand nombre de barrettes donnaient les résultats suivants :

Limite d'élasticité. . . .	31 à 34	kilogrammes.
Charge de rupture. . . .	51 à 55	—
Allongement.	1 à 3 pour 100.	

Toutes les épreuves se tenaient invariablement dans ces limites.

Les modifications apportées à la composition chimique de l'acier ne se traduisaient pas par des différences sensibles dans les propriétés mécaniques résultant des épreuves; nous étions profondément surpris de ce résultat qui était en désaccord avec tous les faits constatés dans le même temps sur les aciers laminés ou martelés.

Nous pensâmes alors qu'il était peut-être utile de faire subir au métal, avant de le soumettre aux épreuves, *un recuit* dont l'effet serait de le ramener à un état complet de stabilité.

De nombreuses expériences faites dans ce sens, nous donnèrent des ré-

Digitized by Google

sultats tout à fait remarquables, dont on aura une idée dans les quelques exemples que nous donnons ici.

DÉSIGNATION.	MÉTAL BRUT.			MÉTAL RECUIT.		
	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	Allongement.	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	Allongement.
Coulée n° 491.	32.0	57.25	2.25	36.15	69.25	4.25
— 448.	33.20	55.90	1.75	38.20	78.50	5.25
— 948.	33.0	57.50	1.70	35.5	74.0	7.25
— 966.	28.0	55.5	2.00	32.2	73.8	8.10
— 1501.	35.8	59.6	2.50	40.1	85.0	4.90
— 1516.	38.7	51.5	0.70	42.9	91.0	5.30

Ces exemples pris, au hasard au milieu d'un très-grand nombre d'essais faits dans les mêmes conditions, font ressortir de la manière la plus nette, des faits qui, jusqu'alors, n'avaient pas été constatés.

Le recuisage apporte à l'état moléculaire du métal une transformation complète, et l'on peut constater que toutes les propriétés physiques sont modifiées, puisque la limite d'élasticité, la résistance à la rupture et l'allongement, sont accrus en même temps, et dans de larges proportions.

Jusqu'alors, les épreuves faites sur l'acier laminé ou martelé, avaient donné des indications, d'où il résultait que, si la résistance augmente, l'allongement diminue, et réciproquement. Ce sont là des faits bien connus et généralement admis par tous ceux qui ont étudié la question.

Nous arrivions, au contraire, à constater un fait absolument opposé à tous ceux connus jusqu'alors, un fait qui se produisait toujours, sans exception, à l'état de loi fixe et régulière.

Notre attention fut grandement sollicitée par ces divers résultats qui nous paraissaient ouvrir un nouveau champ d'études.

Un examen attentif des cassures du métal, avant et après le recuit, nous amena à constater des différences très-sensibles dans l'état moléculaire.

Le métal brut, sortant du moule, présente à l'œil un grain gros et brillant, le métal recuit se présente sous l'aspect de grain assez terne et gris, et beaucoup plus fin. Quelques échantillons déposés sur le bureau montrent, mieux que toutes les explications, la différence entre les deux états du métal : elle est sensible à première vue.

Cette différence dans l'aspect physique, confirmée par les résultats d'épreuves, nous amena à conclure, qu'avant le recuisage, le métal est dans un état moléculaire instable, dont la cause doit être *un effet de cristallisation*.

L'acier coulé est un corps qui est passé dans un temps plus ou moins long, suivant les cas, de l'état liquide à l'état solide. C'est une circonstance qui amène en général le phénomène de la cristallisation, et il nous apparaissait que c'est avec ce phénomène que nous allions désormais avoir à

Digitized by Google

compter dans la poursuite de nos études sur la production de l'acier coulé sans soufflures.

Si l'on se reporte au tableau d'épreuves qui vient d'être donné, on remarquera que le métal essayé brut, avant recuit, n'accuse, au point de vue des propriétés physiques, que des différences insignifiantes. Après le recuit, au contraire, on constate, entre le métal des différentes coulées, des différences sensibles, correspondant exactement à des modifications notables dans la composition chimique.

C'est ainsi que les coulées numéros 1501 et 1516, dont la résistance est plus considérable, présentent un acier sensiblement plus manganésé que celui des autres coulées. Nous retrouvions ainsi, sur les aciers coulés, les faits constatés sur les aciers laminés et martelés.

Les résultats donnés par le recuit furent confirmés par des essais de trempe à l'huile, opération bien plus efficace encore que le recuit pour faire passer le métal de l'état cristallin à l'état amorphe.

Cette opération de la trempe à l'huile demande des précautions particulières; lorsque, surtout, le métal est manganésé, il faut la pratiquer avec une grande sagacité pour éviter les ruptures; mais l'opération étant bien faite, il en résulte une amélioration considérable dans l'état physique du métal.

La limite d'élasticité s'élève, suivant les cas, jusqu'à 50 ou 60 kilogrammes. La charge de rupture atteint, pour les aciers durs, jusqu'à 100 et 110 kilogrammes, et l'allongement n'est diminué dans des proportions notables que dans le cas où l'acier contient une forte dose de manganèse.

Ces résultats confirmaient largement ceux donnés par le recuit, et nous nous trouvions armés pour combattre les effets de la cristallisation.

Fabrication des projectiles en acier coulé sans soufflures.

Il résulte de ce qui précède, que depuis le mois d'août 1872, époque à laquelle nous avions soumis aux essais de tir nos premiers boulets en acier coulé, jusqu'au milieu de l'année 1875, nos recherches avaient amené une série d'améliorations dans la fabrication de l'acier coulé sans soufflures, et que nous étions arrivés au moment où la production des projectiles creux résistant au tir oblique, allait pouvoir être réalisée.

Pendant cette même période, de nombreux essais de boulets avaient été faits au champ de tir de Gâvres. Les déformations constatées étaient moindres, et l'on arrivait peu à peu à l'idée que l'acier coulé pouvait et devait être la solution de l'obus de rupture.

Au mois de juin 1875 on éprouva deux boulets de 24 centimètres au tir normal sur plaques de 22 centimètres, et au tir oblique, sous incidence de 20°, sur plaques de 20 centimètres; les vitesses étaient de 385 à 392 mètres au choc. Voici des extraits de l'opinion de la Commission de Gâvres à la suite de ces essais :

« 1° Au tir normal sur plaques de 22 centimètres.

Digitized by Google

« On voit que les déformations subies par ces projectiles n'ont pas augmenté avec l'épaisseur des plaques, qu'elles se sont presqu'exclusivement produites sur l'ogive, et qu'elles n'ont pas empêché le passage des boulets.

« Ces résultats semblent indiquer que la tenacité et la dureté des projectiles sont l'une et l'autre suffisantes.

« 2° Au tir oblique sur plaque de 20 centimètres.

« On voit que les deux boulets se sont comportés dans le tir oblique de façon à satisfaire largement aux conditions que le marché du 2 novembre 1874 leur impose dans l'épreuve du tir normal.

« En résumé, la partie cylindrique des boulets en acier soumis à l'épreuve n'a été ni refoulée sensiblement, ni courbée dans le tir normal et dans le tir oblique. Seules les ogives ont été déformées ou déviées.

« Ces faits semblent démontrer que les projectiles en acier fondu, ni martelé, ni trempé de Terre-Noire sont constitués de façon à faire supporter presqu'exclusivement par l'ogive seule, les déformations du tir, qui ne semblent pas s'accroître avec l'augmentation de résistance des murailles. »

Les boulets dont il vient d'être question n'avaient été ni recuits ni trempés; le recuit aurait pu adoucir le métal outre mesure, et la trempe, pour des boulets pleins, nécessairement fabriqués en acier dur, nous a toujours paru une opération assez dangereuse, au point de vue des cassures intérieures.

Quoi qu'il en soit, les résultats étaient satisfaisants, et nous étions arrivés au moment d'aborder les obus et le tir oblique.

Le moulage et la coulée de pièces de cette nature, en acier, présentent des difficultés exceptionnelles.

Il est difficile de trouver un sable assez résistant pour faire les noyaux; si l'on introduit dans le sable des matières carburées, pour le rendre plus résistant à la haute température de l'acier, on risque les dégagements gazeux et les soufflures.

D'un aure côté, l'artillerie demande des dimensions et des poids *très-rigoureux*, ce qui n'est pas absolument facile à obtenir avec un métal qui donne, au refroidissement, un retrait de 25 millimètres par mètre.

On comprendra aisément que nous ayons rencontré plus d'une difficulté sur ce point spécial, difficultés que je me borne à indiquer parce que le temps dont je puis disposer n'est pas suffisant pour me permettre d'entrer dans tous les détails.

Je tiens seulement à indiquer que, pour répondre d'une manière complète aux désirs de l'artillerie et aux nécessités du service, nous avons dû couler les obus sous forme de boulets pleins, et faire ensuite la chambre intérieure à l'outil. Nous avons pu arriver, par ce procédé, à livrer des pièces d'une précision aussi rigoureuse que cela est nécessaire.

Ces obus ont été ensuite trempés à l'huile; cette trempe a été suivie d'un

Digitized by Google

léger recuit, nécessaire pour atténuer la fragilité des minces parois de la chambre, et aussi pour permettre le filetage du bouchon.

Le 24 septembre 1875, on soumit à l'épreuve du tir à Gâvres deux obus de 24 centimètres au tir normal sur plaques de 22 centimètres, et un obus de même calibre au tir oblique, incidence 20°, sur plaque de 20 centimètres. Les vitesses au choc étaient de 390 à 392 mètres.

Les trois obus traversèrent les massifs cuirassés dans les meilleures conditions; on les retrouva entiers derrière les massifs à des distances de 247, 273 et 628 mètres.

Les ogives avaient subi un refoulement de 7 à 13 millimètres sans aucune espèce de gonflement. La Commission de Gâvres considéra ce résultat comme très-satisfaisant.

Le 8 janvier 1876, trois obus de 24 centimètres furent tirés contre une muraille recouverte de plaques de 20 centimètres. Le tir eut lieu obliquement sous l'incidence de 28 à 30 degrés, avec des vitesses au choc de 422 à 425 mètres.

Les trois obus traversent franchement la muraille et sont retrouvés entiers à des distances de 397, 900 et 1100 mètres derrière le massif.

Deux de ces obus présentent des refoulements de 12 *et* 15 *millimètres*, avec des gonflements de 6 *millimètres* sur le diamètre; le troisième, fabriqué à dessein en métal moins dur, présente un refoulement de 36 millimètres et un gonflement de 9 millimètres, accompagnés d'une assez forte déviation de l'ogive.

Ce résultat était complétement satisfaisant; les obus avaient une chambre de la grandeur réglementaire, le tir oblique avait été essayé au maximum d'incidence possible, le problème était donc résolu.

Il nous restait encore à franchir les difficultés d'organisation d'une fabrication industriellement pratique, à réaliser les mêmes résultats sur les obus de divers calibres, à régulariser, en un mot, une fabrication qui était restée jusqu'alors à l'état d'expérimentation.

Mais la question de principe était résolue, la solution n'était point due au hasard, elle avait été voulue, cherchée et finalement trouvée; nous avions un critérium aussi bien en ce qui concerne le qualités physiques du métal que sous le rapport de la composition chimique; c'était donc une solution véritable, pouvant servir de base à une fabrication.

Fabrication des aciers coulés doux.

La solution obtenue pour la fabrication des projectiles de marine était un cas particulier de la fabrication des aciers coulés sans soufflures. Cette fabrication comporte exclusivement de l'acier dur, et il est généralement admis, depuis longtemps, que l'acier dur est le plus facile à obtenir sans soufflures.

Il s'agissait de savoir si, par les procédés employés pour produire de

Digitized by Google

l'acier dur, il serait possible d'arriver à obtenir du métal coulé doux donnant des allongements de 20 pour 100 et au-dessus.

L'étude de cette question nous parut présenter un intérêt de premier ordre; la solution, si elle était obtenue, pourrait avoir des conséquences considérables au point de vue de l'avenir de la fabrication de l'acier.

Il était donc très-important de poursuivre nos recherches dans ce sens.

Il fallait, pour arriver à produire du métal plus doux, réduire autant que possible la proportion de carbone et de silicium contenue dans l'acier, c'est-à-dire qu'il devenait nécessaire de réduire la quantité de fonte siliceuse ajoutée à la fin de l'opération.

Le minimum auquel il soit possible d'arriver, sans amener le dégagement de gaz et la production des soufflures, nous paraît être 0.25 p. 100 de silicium, ce qui correspond à l'addition de 5.5 à 6 p. 100 de fonte sicileuse de composition indiquée plus haut.

Mais cette quantité de fonte siliceuse apporte avec elle environ 0.20 p. 100 de carbone, ce qui est encore une proportion considérable si on l'ajoute à celle de 0.10 qui reste forcément dans le bain avant l'addition, et à celle de 0.15 p. 100 provenant de l'addition du ferro-manganèse; on arrive ainsi à une proportion totale de 0.45 p. 100 de carbone, avec laquelle il est impossible d'obtenir ce qu'on appelle un acier doux.

Nous constations, en effet, que les aciers les plus doux qu'il était possible d'obtenir par ce procédé donnaient aux essais de traction, après recuit :

Limite d'élasticité.	35 à 36 kilogrammes.
Charge de rupture.	70 à 74 —
Allongement.	12 à 17 p. 100.

Ces résultats indiquaient déjà qu'il était possible de fabriquer des aciers coulés plus doux que ceux destinés aux projectiles, mais il était évident que, pour arriver à l'extrême douceur, il devenait indispensable d'employer des matières différentes.

Puisque la dose de carbone était le principal obstacle à la production d'un acier coulé très-doux, il fallait trouver moyen de la réduire encore, et il n'était possible d'arriver à ce résultat qu'en produisant des alliages de fer, silicium, manganèse, contenant le silicium à dose plus considérable, de telle sorte qu'il devint possible d'ajouter, à la fin de l'opération, la quantité de silicium indispensable, tout en introduisant le minimum possible de carbone dans le bain.

Les ingénieurs de Terre-Noire étudièrent activement cette question, et la solution fut obtenue dans des conditions très-satisfaisantes; on arriva à produire industriellement un alliage contenant :

8.10 p. 100 de silicium,
14.50 — de manganèse,
1.30 — de carbone.

On comprendra aisément qu'à l'aide de cet alliage il devenait impossible

Digitized by Google

d'introduire dans le bain de 0.20 à 0.25 p. 100 de silicium sans ajouter une dose appréciable de carbone.

Ces nouveaux alliages nous donnèrent, en effet, le moyen d'atteindre le but que nous poursuivions; avec une addition de 3 1/2 p. 100 à la fin de l'opération, nous introduisons le silicium en quantité suffisante, et la proportion de carbone ajoutée est de 0.45 p. 100, *à moins d'un demi-millième.*

Il nous est aujourd'hui possible, grâce à ces nouveaux alliages, de produire toutes les nuances d'acier doux; nous obtenons couramment des aciers coulés sans soufflures donnant, après recuit, aux épreuves à la traction :

Limite d'élasticité.	20 à 23 kilogrammes.
Charge de rupture.	46 à 52 —
Allongement.	22 à 28 p. 100.

Les épreuves au choc, pratiquées d'après les données de l'artillerie, donnent des résultats identiques à ceux qu'on obtient avec des aciers laminés ou martelés.

La production de l'acier coulé sans soufflures se trouvait ainsi complétement résolue, puisque nous pouvions obtenir, par les procédés appliqués, des aciers de toutes les duretés et de toutes les compositions chimiques.

Le tableau suivant, comprenant des coulées prises dans notre fabrication de 1876, montrera la gradation qu'il est possible d'obtenir depuis l'acier dur pour projectiles, jusqu'aux aciers très-doux pouvant être appliqués aux canons et aux divers usages de la construction.

Digitized by Google

DÉSIGNATION.	MÉTAL BRUT.			MÉTAL RECUIT.			MÉTAL TREMPÉ ET LÉGÈREMENT RECUIT.		
	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	Allongement	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	Allongement	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	Allongement
Métal dur pour projectiles.	k.	k.		k.	k.		k.	k.	
1876. Coulée 1197.....	31.9	52.2	1.20	36.5	78.5	7.00	55.0	116.0	0.70
» » 1204.....	23.7	56.0	2.10	29.4	73.0	7.50	42.7	111.5	1.00
» » 1211.....	25.3	58.0	4.00	25.3	73.0	9.80	28.8	77.2	6.50
Métal doux résistant.									
1876. Coulée 1543.....	33.0	57.9	2.0	34.8	74.8	12.20	36.6	75.2	11.50
» » 1558.....	31.2	62.5	3.3	36.9	72.9	14.00	39.0	76.8	12.00
» » 1565.....	30.8	59.8	2.8	34.0	74.0	17.50	45.0	85.0	8.00
Métal très-doux.									
1876. Coulée 2078.....	16.1	46.8	12.8	23.5	49.2	28.5	31.3	56.5	17.5
» » 2262.....	17.2	47.8	13.8	19.2	46.5	26.5	31.1	55 0	22.8
1877. » 18.....	18.1	56.8	14.8	20.2	54.2	21.5	35.5	67.7	14.0

Digitized by Google

Les coulées nos 1197, 1204, 1211, sont celles d'où provenaient les obus soumis au tir à Gâvres, le 8 janvier 1876. On se rappellera que l'un de ces obus avait donné au tir des déformations un peu plus considérables, c'est celui provenant de la coulée n° 1211; les épreuves par traction montrent bien, en effet, que l'acier de cette coulée est plus doux.

L'analyse chimique a donné, pour ces diverses coulées, les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	CARBONE.	SILICIUM.	MANGANÈSE.
N° 1197	0.635	0.550	0.95
N° 1204			
N° 1211	0.550	0.405	1.05
N° 1543	0.425	0.275	0.75
N° 1558			
N° 1565	0.450	0.350	1.10
N° 2078	0.260	0.260	0.41
N° 2262			
N° 18	0.317	0.300	0.48

Cette composition chimique, comparée aux résultats des épreuves, explique très-bien certains faits; la grande résistance de la coulée n° 1565 est expliquée par un dosage élevé en manganèse; on remarquera d'ailleurs que la trempe exerce une influence sensible sur ce métal.

La différence entre les coulées nos 2078, 2262 et le n° 18, est expliquée par une teneur un peu plus élevée en carbone et silicium.

On remarquera que tous les faits, antérieurement constatés pour les aciers laminés et martelés, se reproduisent exactement dans les mêmes conditions sur les aciers coulés sans soufflures.

Résumé et Conclusions.

Avant de formuler d'une manière définitive les conclusions qui doivent, à mon avis, se dégager de l'exposé qui précède, il n'est pas sans intérêt de rechercher ce qui a été fait dans le passé, au point de vue de la production des aciers coulés sans soufflures.

Cette question n'est pas nouvelle; à partir du jour où il a été reconnu possible d'obtenir, par un procédé ou par un autre, des aciers fondus en grande masse, le désideratum de l'acier coulé sans soufflures est né dans les esprits. C'était, en effet, une solution très-séduisante, que celle qui aurait mis à la disposition de l'industrie des pièces coulées, beaucoup plus résistantes que celles de fonte, d'une qualité presqu'égale à celle de l'acier forgé.

Les industriels allemands entrèrent les premiers dans cette voie, et l'on a pu voir à toutes les expositions industrielles, depuis 1855, les produits de cette nature.

Digitized by Google

M. Krupp exposait des lingots de plus en plus gros, les usines de Bochum montraient des pièces moulées, et notamment des roues pleines, très-bien réussies.

Mais on ne disait absolument rien, ni sur les propriétés physiques, ni sur la composition chimique, ni sur les procédés de fabrication du métal ainsi exposé à l'admiration publique.

On savait que le silicium était un des éléments de cette fabrication; M. Bessemer avait pris, dès 1861, un brevet pour cette application, et même avant cette date, des savants anglais, et notamment M. Fairbairn, avaient indiqué les propriétés du silicium.

Mais, tous les procédés de détail étaient restés à l'état de secret, et l'opinion générale était que l'on ne pouvait produire d'acier coulé sans soufflures qu'à la condition de faire *très-dur*, et de ne demander au métal ainsi obtenu, aucune des qualités de ductilité qu'on exige ordinairement de l'acier.

Une autre solution, connue depuis longtemps et pratiquée encore avec succès, est celle de la *fonte malléable*.

Ce procédé consiste, comme chacun le sait, à couler de la fonte d'une certaine qualité, et à soumettre les pièces ainsi obtenues à une décarburation lente, en chauffant les pièces au contact d'un oxyde avide de carbone. C'est l'opération inverse de la cémentation.

Cette opération, pratiquée depuis longtemps avec succès, n'est applicable qu'à la fabrication des petites pièces; des pièces de dimensions moyennes et à plus forte raison de grosses pièces ne peuvent être obtenues par ce procédé.

Il est arrivé, et il arrivera encore que, pour obtenir certaines modifications moléculaires de la surface des pièces en acier forgé ou coulé, on mette en pratique le recuit au contact d'un oxyde de fer, d'un oxyde de zinc, ou de toute autre matière analogue; mais il n'y a pas là les éléments d'un procédé de fabrication pour l'acier coulé sans soufflures.

La fonte malléable a donc dû être limitée à la production des petites pièces; il faut ajouter, d'ailleurs, que l'on est resté jusqu'ici sans aucune donnée sur les propriétés physiques du métal obtenu par ce procédé.

Depuis quelques années on a cherché résoudre, par des *procédés de compression mécanique à l'état liquide*, la question de l'acier sans soufflures.

M. Joseph Witworth, de Manchester, paraît pratiquer couramment cette opération. Mais, d'après le peu de renseignements que l'on possède sur ce procédé, il semblerait que c'est plutôt un forgeage au moyen de la presse hydraulique, qu'une compression à l'état liquide, qui est pratiqué par cet industriel.

Sous l'action d'une pression très-élevée, l'acier est immédiatement solidifié, et on se trouve alors en présence, non pas d'un liquide, mais d'un véritable solide; le problème revient alors, ainsi que je viens de le dire, à un système de forgeage à la presse.

Digitized by Google

Il faut ajouter, en ce qui concerne M. Witworth, que sa fabrication porte exclusivement sur des aciers de première qualité coulés au creuset.

Un mécanicien français, M. Bouniard, ancien contre-maître aux usines de Terre-Noire, a étudié avec une grande persévérance un système de compression de l'acier liquide; des essais en grand ont été faits dans diverses usines françaises, notamment chez MM. Revollier, Biétrix et compagnie, à Saint-Étienne, et aux usines de Terre-Noire; aucun résultat pratique sérieux n'a été obtenu par ce système.

Il faut ajouter qu'on s'est fait pendant longtemps, sur les effets de la compression du métal liquide, des idées qui ne sont pas justes; on a pensé que, par ce procédé, il était possible d'augmenter la densité de l'acier. C'est là une erreur, et notre expérience nous a démontré de la manière la plus précise que le meilleur procédé pour arriver à la densité maximum de l'acier, c'est de le couler dans de bonnes conditions et sans soufflures.

Des expériences faites dans nos usines avec une grande précision, nous ont démontré que la densité des aciers coulés sans soufflures varie entre 7.8 et 7.9, ce qui est un maximum rarement atteint par les aciers forgés.

Il faut donc admettre que, pour obtenir des aciers d'une structure moléculaire aussi parfaite que possible, possédant la densité maximum et toutes les propriétés physiques qu'on est en droit d'en exiger, il faut leur appliquer le travail mécanique par les procédés déjà connus, laminage, martelage ou pression, ou bien obtenir des aciers coulés sans soufflures par les procédés que je viens d'indiquer.

Il est incontestable que, pour un grand nombre de pièces de formes diverses, le martelage restera pendant longtemps encore un moyen efficace, sinon absolument parfait, d'amener l'acier à posséder l'ensemble des qualités dont nous venons de parler.

L'opération du martelage est d'ailleurs très-diversement appréciée par les producteurs et les consommateurs d'acier.

Il me paraît intéressant de faire connaître une de ces appréciations, émanant de M. Chernoff, sous-directeur des aciéries d'Obouchoff, près Saint-Pétersbourg, où l'on fabrique des canons en acier de tous calibres pour le gouvernement russe.

Le travail de M. Chernoff date de 1868; il fut communiqué à cette époque à une société savante en Russie. Il était resté ignoré des industriels de l'Europe occidentale, parce que la langue russe, dans laquelle ce travail avait été publié, est peu connue dans nos contrées.

C'est seulement dans le courant de l'année 1876 que ce Mémoire fut traduit en anglais par M. Anderson, et publié par l'*Engeneering*.

Le Mémoire de M. Chernoff porte pour titre *la Structure de l'acier*; l'auteur paraît attacher à la constitution moléculaire de ce métal une importance capitale; il donne dans son travail des indications précieuses sur les principes qui doivent présider au chauffage de l'acier pour le foyer dans les meilleures conditions.

Digitized by Google

Quelques extraits textuels de la traduction de ce Mémoire montreront très-nettement comment M. Chernoff envisage le martelage.

« Le problème du forgeage à des températures plus hautes que *b* consiste, tout en changeant la forme de la masse de l'acier, à ne pas lui laisser le temps de se refroidir et de cristalliser tranquillement, et à la maintenir sous forme amorphe, jusqu'à ce que la température tombe au-dessous de *b*, température à laquelle l'acier, ne pouvant plus cristalliser, conserve sa grande ténacité, sa résistance aux forces extérieures, sa structure homogène, en supposant la composition chimique identique dans toute la masse.

« *Cependant, si le problème ne consistait qu'à remplir ces seules conditions, on pourrait se dispenser du forgeage sous le marteau.* Il suffirait d'obtenir la forme désirée en coulant dans les moules, et d'empêcher la cristallisation par un refroidissement brusque. Mais il y a d'autres difficultés : les lingots, surtout ceux qui sont destinés à fabriquer des canons, sont remplis de pores et de soufflures tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, ils ont des bavures et des criques provenant de la contraction, de sorte qu'on ne pourrait pas les employer tels que la fonderie les livre. Ces bulles doivent être écrasées et fermées, ce qu'on ne peut obtenir que par des moyens mécaniques et par un forgeage puissant.

« *De l'acier fondu non forgé n'est ni moins dur ni moins résistant que de l'acier de même grain, forgé à une température au-dessus de b.* »

Ainsi donc, au dire de M. Chernoff, si l'acier fondu ne présentait pas en sortant du moule des défauts intérieurs et extérieurs, le forgeage serait inutile, puisqu'il n'augmente ni la dureté, ni la résistance, ni la densité de l'acier.

Il est à peine besoin de faire ressortir l'importance de cette affirmation, qui paraîtra certainement hasardée à un grand nombre d'hommes expérimentés dans le travail de l'acier, et qui est cependant en accord complet avec les faits nombreux révélés par les expériences que nous venons d'énumérer.

A l'appui de l'opinion ci-dessus relatée, M. Chernoff a fait un certain nombre d'expériences; il est utile de reproduire textuellement celle qui est détaillée dans son Mémoire.

« J'ai pris un lingot fondu à gros grains et je l'ai fait couper en long, en quatre parties. Un des quarts fut directement transformé sur le tour en éprouvettes pour essai à la traction. Le second quart fut chauffé au rouge vif et forgé sous un pilon de 3 tonnes, en cessant de forger quand la température était descendue jusqu'à *b*. On en fit également des éprouvettes pour la traction.

« Le troisième morceau fut chauffé au rouge presque jusqu'à atteindre la température *b*, à laquelle on avait arrêté le forgeage pour le morceau précédent, *et on le laissa refroidir à l'air sans le forger. La cassure de ce troisième morceau avait pris un grain fin très-semblable à celui de la pièce forgée*. On y tourna également des éprouvettes.

Digitized by Google

« Voici le résultat des épreuves à la traction :

DÉSIGNATION.	CHARGE de rupture.	ALLONGEMENT.
N° 1. Lingot sortant du moule.....	55k	2.3 %
N° 2. Lingot forgé.....	65.5	5.3
N° 3. Lingot réchauffé et refroidi.....	61.2	16.6

On remarquera que les résultats de traction obtenus par M. Chernoff sur le métal brut sortant du moule, n'ayant subi ni trempe ni recuit, sont identiques à ceux obtenus dans les expériences faites à Terre-Noire.

Cette coïncidence entre des faits qui se sont produits à des intervalles considérables de temps et d'espace, constatés par des hommes vivant à plus de 5,000 kilomètres les uns des autres, et entre lesquels il n'a jamais pu exister aucune communication, est un fait extrêmement remarquable, sur lequel l'attention des industriels doit être appelée.

Le Mémoire de M. Chernoff doit être lu par tous ceux qui s'intéressent aux questions métallurgiques; on y puisera la conviction que l'auteur est arrivé, par son expérience personnelle, qui paraît sérieuse, à des conclusions exactement conformes à celles qui ont été amenées par les longues recherches faites dans nos usines, de 1868 à 1877.

Nous y avons trouvé, pour notre part, la confirmation des résultats de tous nos travaux, et du principe général qui nous paraît s'en dégager, principe que nous formulons comme suit :

L'acier tient toutes ses propriétés physiques de sa composition chimique et de son état moléculaire; le travail mécanique de forgeage ou de laminage n'est pas nécessaire au développement de ses qualités. L'acier coulé sans soufflures, dans de bonnes conditions, et convenablement recuit ou trempé, atteint un état moléculaire absolument satisfaisant.

Au premier abord, le principe ainsi formulé paraît étonnant et peut-être un peu paradoxal; je dois dire que, personnellement, j'ai résisté longtemps à l'idée qu'un tel principe était admissible.

Mais de nombreuses expériences dont les résultats se reproduisent avec la régularité d'une loi absolument fixe, m'ont enfin démontré que le doute n'est pas possible et que le principe est vrai.

Il faut ajouter que des réflexions plus approfondies sur ces questions de mécanique moléculaire amènent à penser, qu'après tout, la loi que nous venons de formuler n'est pas aussi loin qu'on pourrait le penser tout d'abord des lois générales qui régissent la matière.

Nous considérons dans cette loi *que les actions chimiques sont suffisantes pour donner à l'acier toutes ses qualités physiques.*

N'est-ce donc pas un fait bien connu dans la science nouvelle que les actions chimiques, combinées avec les hautes températures dont on peut

Digitized by Google

disposer pratiquement aujourd'hui, constituent une puissance considérable ?

Est-il donc contraire à la raison d'admettre que des puissances de cette nature puissent amener des résultats égaux, supérieurs peut-être, à ceux d'un travail mécanique par laminage ou par martelage?

Je viens de parler de *mécanique moléculaire :* il m'est impossible de ne pas rappeler ici que M. Jordan, le savant métallurgiste, au moment où il prenait possession de la présidence de la Société des Ingénieurs civils, disait :

« La mécanique moléculaire est encore dans son enfance, et elle pré-
« sente un champ fécond de recherches et d'expériences. Nous connais-
« sons maintenant, par exemple, le fer à bien des états divers; nous savons
« depuis quelque temps l'obtenir à l'état fondu, de même que l'acier et la
« fonte. Mais que de choses ne nous reste-t-il pas à apprendre encore pour
« connaître toutes les propriétés de ces divers états du fer, pour expliquer
« les particularités qu'ils présentent au point de vue de leur emploi dans
« les constructions, pour établir les relations qui doivent exister entre ces
« divers états moléculaires et la résistance du métal aux divers efforts,
« pour avoir une théorie certaine du travail du fer à froid comme à chaud.
« Ces connaissances, qui constituent ce qu'on peut appeler la physique et
« la mécanique moléculaires du fer, sont encore bien rudimentaires. »

Et encore :

« La température à laquelle les aciers se solidifient a certainement une
« influence considérable sur leur grain. On connaît la pratique qui con-
« siste, pour certains aciers, à fermer hermétiquement la lingotière aussi-
« tôt que le métal y a été coulé et à l'abandonner en repos jusqu'à ce qu'on
« suppose la solidification effectuée. On sait que, lorsque l'acier fait prise
« dans des lingotières en mouvement, la structure paraît plus massive et
« moins cristalline. »

Il est impossible de ne pas voir dans ces paroles une véritable intuition qui fait beaucoup d'honneur à notre savant collègue; nous avons bien le droit d'y trouver aussi un encouragement dans la voie d'études que nous avons suivie.

Je dois ajouter, en terminant cet exposé trop long à mon gré, que je ne me fais aucune illusion sur l'application du principe général que je viens de formuler.

Nous sommes en possession d'une vérité nouvelle fort importante; elle ne deviendra appréciable pour tous qu'après de longues expérimentations. Nous aurons à lutter contre toutes les difficultés pratiques que comporte un métal absolument nouveau dont la perfection ne peut être obtenue qu'à la condition de le produire aux plus hautes températures.

Quoi qu'il en soit, le principe est posé, les applications ne manqueront pas de s'en dégager avec le temps et suivant les besoins de l'industrie humaine.

Digitized by Google

M. Contamin rappelle que la théorie mathématique de l'élasticité, qui seule permet de se rendre compte de la répartition des forces élastiques dans l'intérieur des corps, suppose une homogénéité parfaite de la matière. Les pièces en acier fondu n'ayant pas subi de travail ultérieur à la fonte, sont évidemment d'une structure plus homogène que les mêmes pièces qui auraient été forgées, le travail du forgeage ayant pour effet de modifier l'état moléculaire d'une manière irrégulière suivant l'intensité des actions exercées en chaque point.

M. Contamin pense donc que les formules de résistance seront plus rigoureusement applicables dans le premier cas que dans le second, et il croit qu'il y aurait avantage à faire en acier fondu non forgé un grand nombre de pièces qui aujourd'hui sont obtenues exclusivement au moyen du forgeage.

M. Euverte est de l'avis de M. Contamin en ce qui concerne l'application des formules de résistance, mais il ne pense pas que le moment soit encore venu de remplacer par de l'acier fondu la plupart des pièces de forge actuellement employées. Il y a des difficultés de moulage dues au retrait considérable de l'acier et qui rendent impossible l'obtention de certaines pièces, au moins pour le moment.

M. le Président rappelle que les difficultés de moulage ne sont pas particulières à l'acier et qu'elles se présentent, bien qu'à un degré moindre, pour les pièces qu'on veut couler en fonte. Il craint que le retrait, qui est de *deux et demi* pour cent pour l'acier, soit pour longtemps encore un obstacle à l'obtention de pièces en acier.

M. le Président demande à M. Euverte s'il pense que les différents corps entrant dans la composition de l'acier, dont il vient d'entretenir la Société, sont à l'état de combinaisons définies comme on l'a plusieurs fois avancé, ou bien s'ils ne sont simplement qu'à l'état de mélange, cette dernière supposition paraissant difficile à admettre à cause des différences de densité de chacun des éléments.

M. Euverte répond qu'à son avis, il y a mélange seulement, et pour ainsi dire une superposition des éléments sans pénétration; il en trouve la preuve dans ce fait, que les aciers phosphoreux ou sulfureux, simplement fondus, sont cassants, tandis qu'un forgeage énergique et prolongé les améliore d'une manière très-sensible. Il est probable que le travail mécanique qu'on leur a fait subir a eu pour effet de faire pénétrer les molécules des corps différents les uns dans les autres, et de rendre l'ensemble plus homogène.

M. Contamin fait remarquer, à l'appui de ce qui vient d'être dit par M. Euverte, que les analyses qu'il a fait faire de quelques rails phosphoreux ont démontré que le phosphore n'était pas uniformément réparti dans la longueur des rails. Ces analyses n'ont pas encore été faites sur les rails à faible dose de phosphore, que l'usine de Terre-Noire a fabriqués en très-grande quantité pour la Compagnie du Nord, et qui sont en tout compa-

Digitized by Google

rables aux rails Bessemer; elles se rapportent exclusivement à des rails provenant de coulées d'expériences contenant jusqu'à trois millièmes de ce métalloïde.

M. Maldant dit qu'il ne faudrait pas trop se hâter de conclure à l'*inutilité* du travail mécanique, malgré les observations et les résultats si intéressants qui viennent d'être présentés par M. Euverte.

Les effets de cristallisation et de recuit, indiqués par M. Euverte, s'expliquent parfaitement et doivent être bien réels; mais le martelage, le laminage, le travail mécanique, en un mot, modifient incontestablement la *disposition moléculaire*, et leur action doit être d'autant plus efficace que le métal qui y est soumis est plus malléable et plus ductile. Ainsi, par exemple, si nous prenons une feuille de métal laminé, nous apercevons immédiatement que les molécules se juxtaposent en fibres parallèles *dans le sens du laminage* et que la feuille de métal présente une résistance bien supérieure à la rupture dans le sens perpendiculaire au laminage que dans une direction parallèle; ce qui démontre certainement que le travail mécanique a produit, dans la contexture intime du métal, des phénomènes moléculaires qui ne sauraient résulter d'un simple recuit.

M. Maldant ajoute qu'en indiquant des réserves qui lui paraissent nécessaires, il n'a aucune intention critique à l'égard de l'intéressante communication de M. Euverte, et qu'il croit, comme lui, que lorsque la masse du métal à travailler est trop considérable pour la force disponible, les conditions de simple recuit qui ont été décrites peuvent présenter des avantages d'homogénéité supérieurs à ceux que produirait le travail mécanique. Mais il croit aussi que toutes les fois que le travail disponible est bien en rapport avec les masses à travailler, cette puissance mécanique produit des phénomènes et des avantages particuliers, qu'on ne saurait attendre du recuit seul.

M. Euverte ne conteste pas le fait pour des pièces de fer dont les fibres ont une direction déterminée par le mode de fabrication; mais pour les pièces en acier fondu qui ne sont nullement dans le même cas, il persiste à croire que le travail mécanique n'est pas nécessaire.

M. le Président remercie M. Euverte de son intéressante communication.

Digitized by Google

Séance du 16 Mai 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est adopté.

Dans cette séance, la Société des Ingénieurs civils a été honorée de la présence de Sa Majesté l'empereur du Brésil.

M. Bandérali donne communication de sa Note sur une nouvelle application de l'électricité à la manœuvre des freins continus dans les trains en marche.

Les freins continus, c'est-à-dire les freins appliqués à tous les véhicules ou à une série de véhicules d'un train, et pouvant être actionnés à la fois par une seule manœuvre, présentent de tels avantages que, dans un avenir plus ou moins prochain, leur application, déjà étendue, paraît devoir s'imposer d'une manière absolue dans l'exploitation des chemins de fer.

Pour les mécaniciens, la certitude d'avoir à leur disposition un moyen d'arrêt prompt, sûr et énergique, est un élément de sécurité des plus appréciés. La vitesse toujours croissante des trains express, leur charge, que les exigences du trafic tendent à augmenter chaque jour, les arrêts fréquents des trains locaux, rendront bientôt nécessaire le choix d'un frein continu, remplissant le plus complétement possible les conditions désirables de simplicité, d'économie et d'efficacité.

Sans entrer dans la comparaison des systèmes de cette nature essayés jusqu'à ce jour, comparaison qui n'est pas l'objet de la présente communication, nous devons dire que les freins qui ont paru répondre le mieux aux besoins d'une exploitation importante doivent pouvoir être appliqués par une manœuvre initiale facile et n'exigeant qu'un faible effort. Sont dans ce cas : les freins fondés sur le principe de la raréfaction ou de la compression de l'air, comme les freins Smith et Westinghouse, les freins hydrauliques, les freins électriques, et même certains freins mécaniques mis en action par le déclenchement d'un contre-poids.

La Compagnie du chemin de fer du Nord a choisi, parmi les divers systèmes de cette espèce, deux freins qu'elle essaie depuis plus d'une année. L'un est le frein électrique de M. Achard, perfectionné dans ces derniers

Digitized by Google

temps; l'autre, un frein pneumatique, dont le principe avait été déjà appliqué en 1860 par MM. Du Tremblay et Martin, ingénieurs français, et qui a été combiné de nouveau et modifié dans les détails de construction et de montage par M. Smith, ingénieur américain.

Ces deux systèmes possèdent tous deux cet avantage d'une manœuvre très-facile.

Le premier est mis en action par la manœuvre d'un commutateur électrique à bouton ou à manette; le second, par l'ouverture d'un robinet ou d'une valve à vapeur.

Dans le système électrique, le commutateur organe du serrage peut être placé où l'on voudra dans le train; il peut y avoir plusieurs commutateurs dont un sur la machine. Dans le système pneumatique, la valve motrice est sur la machine, à la main du mécanicien.

Dans le frein Achard, le commutateur manœuvré envoie dans un circuit général un courant qui embraie électriquement les appareils de serrage placés sous chaque véhicule, les met en action jusqu'à enrayage complet des roues.

Dans le système Smith, la valve motrice livre passage à la vapeur de la chaudière, vers un éjecteur à double tuyère qui, par un effet d'aspiration puissant, *fait le vide* (*vacuum*) dans une conduite générale parcourant tout le train, et dans l'intérieur de sacs compressibles en caoutchouc, ou soufflets en forme de lanternes vénitiennes branchés sur cette conduite; le fond mobile du sac (chaque véhicule est muni d'un sac), en se déplaçant sous la pression de l'atmosphère, tire doucement le levier de l'arbre du frein et applique, avec un effort progressif, les sabots ordinaires sur les roues.

Pour serrer les freins, il suffit donc de presser le bouton ou de déplacer la manette du commutateur électrique, dans un cas; dans l'autre, d'ouvrir la valve ou le robinet à vapeur, qui commandent la manœuvre : il n'y a là, pour le mécanicien, que de très-faibles efforts à vaincre. Il a paru intéressant de profiter de la grande docilité d'application de l'organe moteur pour en provoquer le jeu par un effet automatique et indépendant de l'intervention du mécanicien.

L'appareil intermédiaire qui a servi à réaliser immédiatement la pensée que je viens d'exprimer, appareil dont nous avons utilisé le mouvement ingénieux, est le sifflet électro-automoteur du système Lartigue, Forest et Digney, déjà appliqué sur les locomotives du chemin de fer du Nord depuis plus de trois ans.

Je résume ici le principe de cet appareil :

Un sifflet placé sur la locomotive et destiné à frapper l'oreille du mécanicien est actionné par le passage du courant à travers un électro-aimant Hughes; il avise le mécanicien qu'un disque d'arrêt, dont il s'approche, est *à la position* du danger; c'est en se tournant à cette position seulement que ce disque, faisant office de commutateur, envoie dans un contact fixe,

Digitized by Google

placé sur la voie, un courant électrique, qui n'attend, pour être recueilli et transmis à l'électro-aimant Hughes, que le frottement d'une brosse métallique portée par la machine et reliée à l'électro-aimant du sifflet par un fil.

Le mécanisme qui ouvre le sifflet est donc actionné réellement par *le disque lui-même* à l'arrêt; on comprend que l'intermédiaire du disque n'est pas absolument nécessaire, et que le chef de la station ou le gardien du point à couvrir pourrait envoyer directement le courant électrique *dans le contact fixe* placé sur la voie, et ouvrir lui-même le sifflet électro-automoteur sur la machine, et cela à toute distance; de même, si, utilisant l'intercommunication électrique du système Prud'homme, qui existe dans les trains du chemin de fer du Nord, nous envoyons par un commutateur placé dans le train un courant de sens convenable au sifflet sur la locomotive, nous l'actionnerons et nous posséderons encore un moyen de produire un *mouvement* sur la machine, indépendamment de l'intervention du mécanicien, et, pour ainsi dire, à son insu. En un mot, tout courant électrique pouvant parvenir au sifflet l'actionnera, quelle que soit son origine.

Or, nous avons appliqué *ce mouvement,* qui ouvre déjà le sifflet, au déclenchement de la manette du commutateur électrique, commandant le frein Achard, dans un cas; dans l'autre, au déclenchement de la queue de la valve équilibrée, commandant tout le frein pneumatique Smith.

Aussitôt le déclenchement du commutateur ou de la valve opéré, les freins agissent; le train ralentit et s'arrête, quand même le mécanicien ne fermerait pas son régulateur. *Pour desserrer les freins*, nous avons pensé qu'il était avantageux et simple de rendre nécessaire l'intervention de la main du mécanicien ou de tout autre agent, à son défaut. Il n'est pas inutile de noter qu'avec de tels moyens, l'arrêt d'un train, lancé à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure, peut, *dans les conditions les plus désavantageuses,* s'opérer en moins de 450 mètres et de 30 secondes.

Les conséquences de cette application nouvelle sont faciles à déduire.

Un disque à l'arrêt arrête *effectivement* et *directement* tout train survenant.

De l'intérieur des véhicules des trains, on pourrait, à la rigueur, appliquer les freins à l'insu du mécanicien, et, pour ainsi dire, malgré lui; cette faculté, d'une utilité plus ou moins discutable suivant les habitudes d'exploitation et les pays, quand il s'agit d'en armer les voyageurs, est de toute nécessité entre les mains des agents du train.

Une rupture d'attelage applique immédiatement les freins de la tête du train, et l'empêche de s'éloigner de la queue, au point de rendre la rencontre des deux portions dangereuse.

En dehors de ces résultats, dès aujourd'hui réalisés, il est permis d'entrevoir des applications nouvelles du système, mais d'une réalisation moins facile. On comprend, par exemple, que tout point dangereux puisse être efficacement couvert; que par une application plus étendue des contacts fixes placés sur la voie, on pourrait faire en sorte qu'un train en marche se

Digitized by Google

protégeât effectivement lui même, *en appliquant directement les freins d'un train survenant en arrière*, et s'engageant sur une section déjà occupée par le premier train ; ce serait là un *block-system* absolument effectif et à l'abri de toutes les chances de fausse interprétation, si redoutable en matière de signaux. Dois-je ajouter, me rappelant un récent et terrible accident, que, sur une ligne à voie unique, munie de contacts fixes suffisamment rapprochés, chacun des chefs de deux stations, entre lesquelles des trains armés du système que je viens de décrire se seraient engagés en sens contraire, pourrait, une fois l'erreur reconnue, les arrêter sûrement tous les deux, et prévenir une rencontre fatale ?

Il m'a paru intéressant de réunir dans une courte notice les considérations qui précèdent et qui résument assez complétement toutes les applications de l'électricité que le service du matériel et de la traction du chemin de fer du Nord, sous la direction de M. Édouard Delebecque, et avec l'autorisation du conseil d'administration de la Compagnie, a cru pouvoir essayer, perfectionner et s'approprier avec avantage.

Il est important de remarquer que toutes ces applications nouvelles ne sont que des mesures de sécurité supplémentaires, additionnelles, mais non pas superflues. Elles n'enlèvent en aucune façon, aux signaux ordinaires, leur importance et leur signification stricte ; elles n'entravent pas l'action des freins existants ; enfin, elles ne déchargent les agents d'aucune part de leur reponsabilité personnelle ; mais, jointes aux perfectionnements récents des signaux fixes, elles ont pour objet de rendre la sécurité des trains en marche aussi indépendante que possible des défaillances inévitables du personnel.

M. le Président remercie M. Bandérali de son intéressante communication.

M. Lavalley donne la description de la constitution géologique du détroit du Pas-de-Calais.

Il rappelle la description qu'il a faite, dans sa communication du 19 novembre 1875, de la configuration et de la nature des terrains qui bordent le détroit du Pas-de-Calais.

Pendant les quelques semaines de la belle saison que l'association du chemin de fer sous-marin avait pu, en 1875, consacrer aux sondages en mer, on avait constaté qu'aux approches de la côte française l'argile du gault et les couches crayeuses, soulevées en ce point par les grès verts, contournent ces roches sans être rompues ou disloquées. Il avait été possible de suivre les différentes assises, dans l'ondulation prononcée que ce soulèvement leur a imprimée, avec assez de précision pour qu'on pût tracer sans incertitudes les courbes de niveau que présenterait la surface du gault, si la craie était enlevée, depuis le bord du détroit jusqu'au point où la déformation des couches cesse de se faire sentir et où ces couches reprennent leur allure régulière, c'est-à-dire, avec une forme presque plane, un plongement à peu près parallèle à la direction du détroit.

Digitized by Google

Les sondages poursuivis depuis ce point jusqu'aux environs de la côte anglaise, avaient montré l'absence, dans cette longue étendue, de toute cassure avec rejet, de tout plissement de quelque importance.

Pendant la belle saison de l'année dernière, l'association du chemin de fer sous-marin recommença les sondages en mer après avoir amélioré les installations, notamment par l'addition d'un petit treuil à vapeur pour relever la sonde, épargnant ainsi à l'équipage un travail pénible, qui avait obligé à mettre un certain intervalle entre les coups de soude successifs.

Il n'était pas nécessaire de revenir sur la partie voisine de la côte française, qui avait été suffisamment étudiée l'année précédente.

On fit d'assez nombreux sondages dans la partie milieu du détroit. Les points reconnus dans la première campagne étaient dans quelques parties du détroit trop clair-semés; entre ces points on multiplia les coups de sonde pour pouvoir tracer avec autant d'exactitude possible les courbes que forment sur le fond du détroit les surfaces séparatives des principaux groupes d'assises.

On est parvenu à rapporter des échantillons de points assez rapprochés pour que dans l'intervalle de deux d'entre eux il ne puisse se trouver d'accidents de quelque importance.

Toutefois on trouve au nord-est du banc du Varne, et touchant à ce banc, un espace assez étendu sur lequel la sonde ne rencontra que du sable ou du gravier. Dans cet espace abrité par le banc contre le courant du flot, les alluvions ont pu se déposer et cachent le fond. Mais l'allure des couches à droite et à gauche de cet espace, la nature des échantillons qui ont pu être recueillis au nord-est du banc à une distance suffisante pour que, son action abritante cessant de s'y faire sentir, les courants aient pu balayer le fond, tout se réunit pour assurer que si sur ce point il y a une faille, elle ne peut avoir qu'une dénivellation sans importance.

De même que sur la plage française, les lignes d'affleurement, en se déviant de leur direction générale de Wissant et de Folkestone, signalaient le plissement des Quénocs, de même sur la plage anglaise la direction également déviée de ces lignes annonçait un accident qu'il importait d'étudier minutieusement.

Grâce au voisinage de la côte, qui permettait d'opérer avec un peu de brume, grâce aussi à l'absence presque complète d'alluvions, la partie du détroit comprise entre la côte anglaise et le banc du Varne a fourni un nombre d'échantillons tellement considérable que l'on peut regarder cette portion du fond du détroit comme aussi bien connue que les régions terrestres où la craie affleure à la surface du sol. L'accident qui s'y trouve, bien qu'un peu plus compliqué que celui des Quénocs, n'offre pas plus que ce dernier de difficulté à l'exécution du tunnel.

Le résultat des études faites à ce jour a été représenté sur une carte sur laquelle tous les points sondés ont été reportés. Des teintes conventionnelles couvrent les parties sur lesquelles tous les échantillons recueillis appartiennent au même groupe d'assises; elles représentent donc les zones

Digitized by Google

du détroit dans lesquelles le fond est formé par les différents bancs de craie.

De plus, la constance non-seulement de composition, mais aussi d'épaisseur des différentes assises constatée dans le voisinage du détroit, en France et en Angleterre, sur le long développement des falaises des deux côtes, comme dans l'exécution des sondages à grande profondeur de St-Margaret's-Bay, de Sangatte, de la Ferme-Mouron, de Calais, donne le droit de supposer que, sous le détroit, cette constance se maintient.

Il en résulte que, connaissant en un point quelconque à terre ou sous l'eau, l'étage auquel appartient le sol en ce point, on sait, comme si on y avait creusé un puits, par quelles assises et par conséquent par quelle distance l'argile du gault sur laquelle repose le système crayeux est séparée de la surface du sol. C'est ainsi qu'on a pu tracer sur la carte les courbes de niveau de la surface du gault à 50, à 100 et à 150 mètres au-dessous du plan de comparaison adopté, c'est-à-dire celui des plus basses mers de vives eaux. Ces lignes résument les connaissances acquises sur l'allure des couches sous le détroit; car, donnant la forme de la surface du gault, elles donnent celle des couches d'épaisseur constante qui reposent dessus.

On comprend qu'il est possible aussi de faire la coupe géologique suivant une ligne quelconque tracée dans la zone explorée, de même qu'on peut chercher le tracé qui, satisfaisant à certaines conditions de pente ou de rampe, resterait dans tel étage de la craie, dans la craie de Rouen par exemple, c'est-à-dire dans les assises les plus imperméables.

On sait, en effet, que le terrain crayeux, dans sa partie supérieure, est constitué par une craie blanche ne contenant qu'une faible quantité d'argile et traversée de fissures et de délits qui laissent passer l'eau. La partie inférieure, au contraire, est mélangée d'une forte proportion d'argile qui la rend imperméable, ainsi qu'on l'avait constaté dans le percement des puits creusés dans le nord de la France à la recherche de gisements houillers. Si dans la première partie de l'opération on rencontre beaucoup d'eau, on cesse d'en trouver lorsqu'on arrive dans la craie inférieure, que les mineurs du Nord appellent les dièves.

Cette imperméabilité a été reconnue de nouveau dans l'opération du sondage que l'Association française a exécuté auprès de Sangatte. Ce sondage a été poussé jusqu'au-dessous de l'argile du gault, et on avait soin, au fur et à mesure qu'on traversait un nouveau banc, de jauger la quantité d'eau qu'il fallait extraire pour abaisser et maintenir le niveau de l'eau dans le forage à une hauteur donnée.

De ce qui précède, on conclut que les bancs inférieurs de la craie se continuent sans interruption d'une côte à l'autre, que ces bancs sont imperméables, et, enfin, que leur allure est dès à présent connue avec assez de précision pour que le tracé du tunnel puisse être déterminé de façon à satisfaire aux conditions d'économie dans la construction, de facilité de raccordements avec les chemins existant dans l'un et l'autre pays, et, enfin, de rapidité et de commodité dans l'exploitation.

Digitized by Google

M. Larousse, ingénieur hydrographe invité à assister à la séance, expose les considérations d'après lesquelles on peut répondre de la rencontre des travaux entrepris de chaque côté, lors même que le tunnel ne suivrait pas une ligne droite.

En premier lieu, la triangulation anglo-française de 1862 qui relie les deux rives du détroit, permettra de connaître avec une grande exactitude la distance des puits creusés sur chaque côte, à l'origine des galeries.

D'autre part, les longueurs et les angles des différents alignements que suivront les galeries, seront mesurés au fur et à mesure de l'exécution, et l'on aura ainsi tous les éléments pour calculer la longueur et la direction de la galerie qui doit, à un moment quelconque, réunir les travaux et fermer le polygone. Connaissant les angles de ce côté, avec les côtés adjacents, on pourra donc tracer dans chaque galerie, la direction à suivre pour se rejoindre.

Mais les erreurs commises dans les différentes opérations, relatives à la mesure des angles et des côtés du polygone, produiront une certaine déviation des axes des galeries, et c'est la valeur de cette déviation au milieu du détroit, ou du moins un maximum de cette valeur, qu'il convient de connaître.

Pour y arriver, on a supposé qu'à chaque opération, l'erreur atteindrait le maximum possible, et de plus que toutes les erreurs se combineraient pour augmenter, dans un même sens, la déviation des galeries.

On a ainsi admis :

1° Sur la mesure des longueurs, une erreur de $\frac{1}{10.000}$ (un décimètre sur un kilomètre);

2° Sur le pointé simple des lunettes, une erreur de 2″;

3° Sur la mesure des angles répétés ou réitérés un grand nombre de fois, une erreur de 3″ à la surface du sol, et de 4″ dans le tunnel pour tenir compte de certaines difficultés de visé et de mise au centre du théodolite.

Avec ces chiffres qui paraîtront certainement exagérés, en raison du perfectionnement des instruments géodésiques, on arrive aux résultats suivants :

1° *Dans le cas d'un tracé direct,* bien que les opérations soient peu nombreuses, les erreurs commises, principalement en reportant dans le tunnel la direction prise à la surface du sol, pourrait produire un écart maximum de 1m.88 ou 2m.22 d'axe en axe, suivant que l'alignement à suivre aura été donné par une seule position du théodolite placé à l'origine de chaque galerie, ou par deux positions de l'instrument, l'une à l'origine, la seconde vers le milieu.

2° *Dans le cas d'un tracé indirect formé de deux alignements réunis par une courbe de* 2700 *mètres de rayon et* 2500 *mètres de longueur,* l'accumulation de toutes les erreurs produirait au milieu du détroit un écart maximum de 4m.40 entre les axes des deux galeries.

Digitized by Google

3° Dans le cas d'un tracé indirect présentant cinq courbes de manière à suivre de très-près les lignes de niveau de la surface du gault, tracé qui a été étudié par M. l'ingénieur des mines Potier, comme une limite des sinuosités possibles, on trouve, malgré le grand nombre d'observations nécessaires, que l'écart maximum des axes des galeries serait de 8m.35; il dépasserait donc très-peu la largeur du tunnel projeté qui serait de 8m.00, et même, dans ce cas, la jonction des travaux ne saurait être mise en doute.

Cette conclusion est d'autant mieux justifiée que l'hypothèse de l'accumulation des erreurs dans un même sens, et d'un maximum d'erreur aussi élevé pour chaque opération, est tout à fait improbable.

L'erreur qui se produira dans les limites que l'on vient d'indiquer, n'exigera même pas que le tunnel soit élargi d'une manière sensible, au point de raccordement.

Lorsqu'en effet les travaux exécutés de chaque côté, dans les directions indiquées par les instruments, seront arrivés à un kilomètre environ du point de jonction, on pourra pousser dans leur prolongement une galerie à section réduite, jusqu'à ce que l'on ait dépassé de 5 à 6 mètres le point où l'on aurait dû se rencontrer; c'est là le maximum d'erreur que l'on puisse commettre sur la position dans le sens de l'axe, avec une approximation de $\frac{1}{10.000}$ dans la mesure des longueurs; on sera donc certain que les deux galeries se sont croisées, et si le bruit des travaux n'indique pas suffisamment leur position relative, on se rencontrera sûrement en ouvrant une petite galerie transversale, qui aurait au plus 6 à 8 mètres de longueur; les travaux de percement à grande section permettront ensuite de racheter l'erreur par des courbes à peine sensibles.

En résumé, quelques sinuosités dans le tracé du tunnel ne sauraient être un obstacle à la jonction des travaux, et il n'y aurait pas lieu de s'arrêter aux difficultés de cet ordre, si la nature des terrains ou d'autres considérations conduisaient à adopter un tracé indirect.

Séance du 1er Juin 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mai est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société que M. Marcel Deprez *vient d'ob-*

Digitized by Google

tenir de l'Académie le Prix de Mécanique, de la fondation Montyon, pour son indicateur de pression applicable aux machines à vapeur.

M. Vidard demande que la discussion sur la communication faite par M. Bandérali dans la dernière séance sur l'*Application de l'électricité à la manœuvre des freins continus dans les trains en marche* soit mise à l'ordre du jour.

M. Dupuis (Edmond) dépose sur le bureau des exemplaires du procès-verbal de la séance de la Société de l'industrie minérale, tenue à Montluçon le 18 février dernier.

Il est donné lecture de la lettre suivante, adressée par M. Brustelein :

« Monsieur le Président,

« M. Euverte dans son intéressante communication de la séance du 4 mai, a cité un fragment d'un travail de M. Chernoff sur l'acier.

« Ce savant avait, comme le dit M. Euverte, constaté par des expériences directes qu'au-dessus d'une certaine température ($b°$), variable pour chaque nature d'acier, le forgeage n'augmentait ni la densité, ni la résistance. Il suppose qu'à partir de cette température ($b°$), le fer commence à se dissoudre dans son carbone, comme l'alun dans son eau de cristallisation, et que l'acier est alors incompressible comme un liquide.

« Réduite à cela, cette citation pouvait laisser, dans bien des esprits, des doutes, que M. Maldant a exprimés pendant la séance.

« C'est qu'en effet M. Chernoff ajoute plus loin : « Si au contraire on « forge l'acier *au-dessous* de la température $b°$, il se comporte tout différemment : les cristaux ou grains sont serrés les uns contre les autres, ils « s'allongent dans un sens et diminuent de section dans l'autre ; l'augmentation de densité devient si considérable qu'elle atteint 8, densité à « laquelle n'arrive jamais un acier forgé au-dessus du point $b°$.

« Ce forgeage relativement froid communique à l'acier un son clair ; il « devient plus dur à la lime ; l'acide sulfurique étendu l'attaque plus difficilement, sa résistance à la traction doit être considérable quoique je « n'aie pas fait d'expériences directes à ce sujet.

« Mais à cause de l'impuissance de nos outils, ce forgeage à basse température n'est plus praticable pour les grandes masses d'acier.

« Comme ce côté de la question du martelage se rattachait moins directement à la communication faite par M. Euverte, on comprend qu'il ait omis d'en parler.

« Cependant cette citation incomplète pouvait faire naître des doutes sur la valeur des remarquables observations de M. Chernoff, dans l'esprit des personnes familiarisées avec les effets du forgeage à froid de l'acier, ou bien laisser des notions erronnées à celles qui n'ont pas eu occasion d'en juger par leur propre expérience.

« A ce point de vue il serait peut-être utile de compléter la citation?

Digitized by Google

« Ce complément viendra justifier pleinement les réserves faites par notre collègue, M. Maldant, et dissiper tous les doutes.

« Veuillez agréer, etc., etc. »

M. Barrault présente au nom de M. Fontaine un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Éclairage à l'électricité*, et il annonce que l'auteur se propose de faire à la Société une prochaine communication sur cet important sujet. Comme il ne serait pas facile de faire dans la salle des séances les expériences nécessaires, chacun des membres résidant à Paris sera invité individuellement à assister à celles qui se feront dans une des salles du Palais de l'Industrie.

M. Marché donne ensuite lecture de la Note de M. Jules Garnier sur les traitements des minerais à base d'oxyde de nickel. (Cette Note sera insérée *in extenso* dans le Bulletin.)

M. Brull regrette de ne pas trouver, parmi les échantillons de minerais de nickel présentés à la Société, un spécimen du minerai pauvre qui, d'après M. Garnier, est probablement très-répandu dans beaucoup de pays, où il est encore inconnu à cause de ses apparences métalliques peu tranchées.

M. Regnard présente quelques morceaux de ce minerai, qui proviennent de la Nouvelle-Calédonie.

M. Arson demande par quel moyen on se débarrasse de la proportion énorme de 25 pour 100 de soufre qui est signalée par M. Garnier dans un des produits intermédiaires de la fabrication de nickel.

M. Marché répond que le moyen employé est connu depuis longtemps, et que si M. Garnier ne l'a pas décrit dans son Mémoire, c'est qu'il avait pour but unique de faire connaître des procédés nouveaux.

M. le Président remercie M. Marché de la communication qu'il vient de faire du travail de M. Garnier.

M. Lavezzari a la parole pour sa communication sur la construction de l'hôpital de Berck.

Mon intention est de laisser absolument de côté tout ce qui est relatif au but même de cet établissement, et aux conditions qui étaient à réaliser pour satisfaire aux vues de sa destination. Je ne veux que vous entretenir des particularités offertes par un travail effectué dans des circonstances qui ne sont pas celles de tous les jours et que chaque ingénieur peut cependant rencontrer. J'ai voulu attendre, pour faire cette communication, que le temps ait apporté sa consécration aux dispositions prises et au mode de construction. Aujourd'hui que huit à dix années nous séparent de ces travaux, il est permis de s'exprimer avec quelque autorité sur leur valeur.

Disons sommairement qu'il s'agissait d'élever des bâtiments, la plupart de 17 mètres de hauteur, couvrant 10,500 mètres, dont le dixième seule-

Digitized by Google

ment est pourvu de caves, sur un terrain immédiatement adjacent à la plage méridionale du Pas-de-Calais. Des dunes excessivement accidentées présentaient des dénivellements de 13 à 14 mètres; de telle sorte que le promeneur y avait rarement autour de lui, en parcourant ces 5 hectares, un horizon dépassant une quarantaine de mètres.

Comment convenait-il d'établir les fondations? L'idée qui s'offrait la première avec le plus de sécurité, étant donné que le sol, tout de sable, était absolument incompressible, était de construire suivant les lignes du plan général des murs de fondation épousant les profils accidentés du sol; mais ce procédé offrait trois inconvénients, dont un seul suffisait pour le faire rejeter.

1er. Il fallait apporter une grande économie, et le cube de maçonnerie allait être considérable.

2me. Il fallait marcher très-rapidement, et quatre mois étaient nécessaires à la fabrication des briques, seuls matériaux à la disposition de l'architecte pour construire ces murs.

3me. Le vent régnait constamment à cette époque de l'année, et d'une façon telle qu'il était impossible, à cause de l'ébranlement des instruments, de prendre avec quelque certitude les niveaux et les alignements nécessaires.

Restait alors le parti d'opérer un nivellement général suivant une surface horizontale moyenne, sur laquelle on creuserait les tranchées strictement nécessaires à l'établissement d'une fondation de béton sous chaque mur, n'offrant qu'une épaisseur de 0m.70.

Mais si des expériences directes m'avaient démontré que le sable amoncelé par le temps m'assurait toute la sécurité désirable, était-il permis d'admettre que le sable fraîchement remblayé par le déchargement des wagons ou des brouettes, allait immédiatement présenter un degré suffisant de tassement? Je fis confectionner des boîtes de 1 mètre de hauteur, qu'on remplit de sable à la pelle. En y frappant la surface avec une dame, le niveau descendait dans ces boîtes de 7 à 8 centimètres; mais si on y versait de l'eau, un nouvel abaissement se produisait, et on gagnait encore ainsi 5 centimètres. Arrivé à ce point, le degré de compacité offert était le même que dans la masse des dunes d'ancienne formation; à cet état, une canne ordinaire s'enfonce verticalement, sous le poids du corps, de 6 centimètres sans pouvoir pénétrer plus avant, et en déterminant autour d'elle un bourrelet d'un rayon plus ou moins grand, sur une épaisseur de 1 centimètre. Mais si, au lieu d'une canne, on emploie un piquet terminé par un plan de 0m.10 de côté, il n'y a pas d'autre enfoncement, malgré le choc d'un fort marteau, que celui apparent produit par le bourrelet superficiel. La quantité d'eau employée était en moyenne de 200 litres par mètre cube de sable.

En conséquence de ces expériences, j'ai fait exécuter le nivellement uniforme des 5 hectares de terrain, creuser ensuite des rigoles de fondation, qu'on a damées et inondées jusqu'à refus; puis celles-ci ont été remplies de

Digitized by Google

béton. Ce béton était confectionné avec le sable des dunes, dessalé par sa longue exposition aux pluies, la chaux hydraulique de Boulogne-sur-Mer, et des silex originaires des craies du terrain jurassique; mais les cailloux, étant venus à manquer, furent remplacés par des laitiers concassés provenant des hauts-fourneaux que la compagnie de Montataire venait d'installer à Boulogne. Quant à l'eau douce, il nous a suffi, pour l'obtenir, de percer des puits sur le chantier en aussi grand nombre que de besoin. A Berck, en effet, comme dans presque toutes les dunes, il existe une nappe liquide d'eau douce d'une grande pureté, et dont le niveau est sensiblement supérieur à l'altitude moyenne de la mer, vers laquelle cette nappe offre même une pente et dès lors un écoulement faciles à constater.

Les briques employées, au nombre de seize millions en nombre rond, étaient difformes, d'une couleur violet lie de vin, très-poreuses, mais, ce qui était surtout à rechercher, excessivement dures Les marches de perron et tous les appuis de fenêtre, 900 environ, sont seuls en pierre dure (marbres du Boulonnais et de Belgique). L'examen des constructions dans les localités voisines indiquait clairement que ce qui était surtout à redouter était l'humidité des murs, non-seulement parce que la pluie fouettée par le vent pénètre profondément ces briques, mais parce que les pores de celles-ci s'imprégnent des sels marins qui, là plus qu'ailleurs, saturent l'atmosphère; pour obvier aux effets de l'incrustation du chlorure de magnésium, le plus déliquescent d'entre eux, les murs ont été faits doubles, c'est-à-dire qu'ils se composent d'un mur extérieur de $0^{m}.11$ (une demi-brique), reliée à un mur principal ayant, lui, l'épaisseur voulue, et dont il est séparé par un vide de $0^{m}.05$; la solidarité entre les deux murs est établie par des briques boutisses, dont la section totale représente le dixième de la surface du mur. Malheureusement, il est arrivé que sur plusieurs points, très-limités d'ailleurs par rapport à l'importance du bâtiment, notamment dans les angles rentrants exposés au sud-ouest, ces briques, servant de liaison, ont aussi servi de conducteur à l'humidité : de là la nécessité de rechercher quelque moyen de parer à ses effets désastreux sur la peinture des murs. Entre tous ceux essayés, je ne citerai que les deux qui ont donné un résultat efficace, tout en présentant cependant quelques inconvénients.

1° Dégrader le mur de son enduit en déjointoyant la maçonnerie; le couvrir d'ardoises en sens inverse de celui employé par les couvreurs, c'est-à-dire en commençant par le haut; puis refaire l'enduit au plâtre ou au mortier bâtard. On peut peindre ou tapisser après dessiccation de l'enduit. Ce procédé est très-efficace; mais si l'on vient à planter un clou dans le mur et si l'ardoise se fend, l'humidité se précipite par la voie qui lui est ouverte.

2° Dégrader à vif les enduits intérieurs; sur la surface des briques mises à nu appliquer une couche de coaltar, puis une seconde après dessiccation de la première; refaire l'enduit, sur lequel on peut appliquer sans crainte peintures ou papiers. Cette opération a l'inconvénient d'être longue à cause du temps nécessaire à la dessiccation du goudron de houille, et d'être

Digitized by Google

inapplicable dans un local habité à cause de l'odeur de ce même goudron.

Ce dernier procédé est, jusqu'à présent, celui auquel je me suis arrêté; mais je dois dire qu'on m'a signalé une nouvelle peinture dont j'attends les meilleurs effets (c'est le procédé L. Henri).

Tous les dallages sont en ciment de Portland. Ils ont été confectionnés sans emploi d'un béton sous-jacent, et immédiatement appliqués sur une couche de sable mouillé; leur qualité est excellente; toutefois, à certaines places, les retraits se sont faits suivant des lignes très-espacées, mais d'une grosseur plus forte que je ne l'attendais; il faut dire que je n'avais que fort peu d'un médiocre gravier, et que j'étais dès lors obligé de forcer la proportion du sable très-fin que j'avais sous la main.

Le bois employé a été presque exclusivement le sapin rouge, et les charpentes ont été combinées de façon à permettre et nécessiter l'emploi des madriers de $0^{m}.08$ sur $0^{m}.22$ et $0^{m}.10$ sur $0^{m}.23$; les longueurs exigées étaient très-restreintes de types.

Les couvertures ont été faites en ardoises anglaises n° 1, du format de 64 centimètres sur 36, fixées avec des crochets Fourgeau, en cuivre, faits à notre demande plus forts que d'habitude. C'est la première fois que ce système a été employé sur une aussi grande échelle, et il a donné à l'administration une entière satisfaction, surtout à cause de la facilité des réparations.

La quincaillerie laisse beaucoup à désirer; l'oxydation la détruit très-rapidement. On a choisi ce que le commerce offrait de meilleur, mais il eût fallu des pièces toutes en cuivre, et, dans cette matière, on ne trouve que quelques articles spécialement fabriqués pour certains bâtiments à vapeur.

Pour terminer je citerai un phénomène assez inattendu, dû à l'existence de l'eau douce sous le sable.

Le corps médical avait exprimé le regret que le traitement balnéaire maritime fût limité aux trois mois de saison des bains. Ma proposition d'amener l'eau de mer au sein de l'établissement dans une vaste piscine, en mettant à profit le flux et le reflux de la mer, fut accueillie avec empressement. Je fis alors placer sur la plage un tuyau de poterie horizontal de 300 mètres de longueur, distance à laquelle se trouvait le niveau moyen. La pose commençant à l'extrémité la plus éloignée, au fur et à mesure qu'on approchait de l'hôpital, la tranchée à faire était de plus en plus profonde et difficile, car on avait fini par atteindre au-dessous de l'estran un niveau toujours mouillé. Le travail terminé, non sans beaucoup de peine, on livra passage à l'eau de mer en ouvrant, à marée montante, l'embouchure du tuyau sur la plage; on constata à la surprise générale qu'il n'arrivait à l'autre extrémité que de l'eau douce.

Le phénomène de l'endosmose se produisait à cause de la porosité de la terre cuite; au moins est-ce la seule explication que nous ayons jamais trouvée. L'opération fut recommencée en prenant cette fois l'eau de mer à

Digitized by Google

une bien moindre distance dans un puits sous la plage, et en la faisant arriver dans un autre puits à l'intérieur de l'établissement par des tuyaux, cette fois, en fonte.

M. Périssé demande si on a essayé l'emploi de ferrures galvanisées qui, sur certains points de la côte et notamment à Cherbourg, ont donné de bons résultats.

M. Lavezzari répond qu'on a essayé des cheminées en tôle galvanisée qui n'ont eu qu'une durée très-limitée; cet insuccès a empêché la tentative des ferrures galvanisées; des cheminées en cuivre rouge ont été de même mises hors de service dans un espace de temps relativement très-court.

M. Quéruel dit, qu'aux environs de Gibraltar, en creusant des puits sur la plage on rencontre, à une très-faible profondeur, une nappe d'eau douce qui se prolonge très-avant dans les terres.

Un Membre dit qu'à la Spezzia un fait analogue se produit.

M. Orsat, à propos de la filtration de l'eau de mer au travers d'une masse de sable, rappelle qu'on obtient d'abord de l'eau douce qui ne provient nullement de la transformation de l'eau salée, mais qui est simplement l'eau que contenait le sable et qui a été refoulée; au bout d'un temps plus ou moins long l'eau salée finit par arriver, après avoir imprégné toute la masse filtrante.

M. Lavezzari répond qu'il n'avait pas à espérer de voir l'eau salée succéder à l'eau douce après que le volume reçu représentait huit et dix fois celui du tube abducteur. D'ailleurs il n'y avait pas de *filtration* dans le tuyau qui était vide de sable ou à peu près.

M. Hamers pense qu'il est bon d'appeler d'une manière toute particulière l'attention des constructeurs sur les fondations économiques à faire à l'aide du sable, aggloméré au moyen de l'eau. On pourrait sans doute employer ainsi le sable plus souvent qu'on ne le fait jusqu'à présent, non-seulement quand le sable constitue le terrain naturel (comme à Berck-sur-Mer), mais aussi dans d'autres cas. Le sable pourrait notamment remplacer assez souvent, — sans dommage pour la solidité des ouvrages à construire, — la totalité ou une grande partie du béton qui y est destiné.

Une forte couche de sable fin, bien agglomérée au moyen d'une parfaite imbibition, et *convenablement encaissée*, constitue une assiette solide et homogène, dont la valeur pour cet usage n'est pas de beaucoup inférieure à celle d'un bloc de pierre, d'un monolithe.

Ce fait est d'une réalité si prononcée, que l'observation qui en a été faite a conduit à une idée plus hardie que celle de remplacer plus ou moins le béton (et a même précédé celle-ci, qui paraît encore presque neuve). Cette autre idée est celle de remplacer par du sable aggloméré les pilotis eux-mêmes, dans quelques-uns des cas où l'on a coutume d'employer des pilotis.

C'est ce que l'on a effectué en 1867 dans la fondation d'un viaduc par-dessous, biais à 27°, qui fut établi à Rouen, sous la route nationale n° 14, pour communiquer du Champ-de-Mars aux quais de la Seine.

On répandit sur le fond de la fouille une couche de sable de l'épaisseur

Digitized by Google

d'un mètre, épaisseur propre à constituer un bloc d'une solidité convenable; cette couche fut immédiatement inondée par l'eau que fournit la fouille elle-même. Après avoir laissé à l'eau le peu de temps nécessaire pour produire son effet, on déposa sur la plate-forme de sable le béton qui précédemment devait être coulé sur le fond de la fouille, ou, faute de mieux, sur pilotis; et sur ce béton l'on éleva le viaduc.

Depuis lors cet ouvrage, quoique établi sur un fond détestable, n'a pas subi le moindre affaissement.

M. Hamers croit savoir, et il est bon d'ajouter, que la fondation avait une base assez large pour permettre de donner aux retraits de la maçonnerie plus du double de l'étendue des retraits ordinaires.

M. Roy croit voir dans les détails donnés par M. Lavezzari sur les fondations de l'hôpital de Berck la confirmation de l'opinion qu'il a émise dans une discussion récente, à savoir que les fondations à établir sur un sol qui n'est pas solide, doivent reposer sur du sable.

M. le Président dit que la condition essentielle de la réussite de ce genre de fondation, c'est l'absence complète de sources et de courants souterrains qui pourraient causer des affouillements dans le sable, et par suite amener la chute de l'ouvrage qu'il supporte.

M. Hamers répond que c'est seulement et expressément sous cette réserve qu'il recommande l'emploi du sable en fondations.

M. Arson cite le fait d'une grande cheminée construite sur l'emplacement d'anciennes carrières. On a creusé un puits jusqu'au sol de l'étage inférieur des galeries abandonnées, puis on l'a rempli de sable et on a élevé la cheminée sur cette couche qui avait 8 mètres d'épaisseur.

M. Regnard demande si le temps nécessaire à la dessiccation des couches de goudron de houille que M. Lavezzari a indiquées comme un excellent moyen de garantir les murs de l'humidité ne pourrait pas être diminué en chauffant le goudron et en l'épaississant au moment de l'emploi.

M. Lavezzari répond que pour obtenir une bonne adhérence du goudron de houille sur les matériaux qu'il doit recouvrir, il est indispensable que la première couche appliquée soit aussi liquide que possible.

M. Arson confirme l'observation de M. Lavezzari, et dit que pour obtenir la fluidité nécessaire on ajoute au goudron une certaine proportion d'essence de thérébentine ou de benzine. Cette première couche très-fluide, une fois appliquée, on peut passer les autres couches avec du goudron aussi épais qu'on voudra.

M. Maldant dit que les compteurs à gaz sont peints par les procédés indiqués par M. Arson, et que l'adhérence du goudron est parfaite.

M. Farcot demande si l'emploi du goudron n'a pas d'inconvénients au point de vue de la couleur des enduits qui doivent être appliqués sur les murs qui en sont recouverts.

M. Lavezzari répond qu'avec les enduits à base de chaux il n'y a pas pénétration du goudron, et que, par conséquent, il n'y a pas à craindre l'altération des couleurs.

Digitized by Google

M. Farcot, revenant sur un fait signalé par M. Lavezzari dans sa communication, dit que pour obtenir de bons résultats avec le ciment de Portland, il faut avoir soin de l'arroser une heure ou deux après la prise et pendant les jours qui suivent cette prise.

M. Arson rappelle que les fentes produites par le retrait du ciment de Portland diminuent quand la proportion de sable augmente, et qu'elles disparaissent aussitôt qu'on fait usage d'un mélange de 3 de sable pour 1 de ciment.

M. Lavezzari dit qu'à l'hôpital de Berck on a employé la proportion indiquée par M. Arson, mais que le sable dont on disposait étant très-fin, le retrait s'est manifesté par des fentes espacées de 1mm.200 à 1mm.500.

M. le Président explique l'influence de la grosseur du sable sur la production des fentes, en disant qu'avec du sable composé de gros grains il est facile d'amener ceux-ci au contact, et que le ciment se trouvant emprisonné entre les grains le retrait s'opère sur de petites masses isolées, et ne peut produire de fentes perceptibles. Avec le sable à grains fins, au contraire, il y a pour ainsi dire continuité du ciment, et le retrait de ce dernier produit forcément des fentes plus ou moins espacées.

M. Ansart dit qu'en ajoutant au mélange de sable et de chaux un dixième de chaux grasse on arrive à supprimer complétement les fentes.

M. Hamers fait observer que tout ce qui vient d'être dit sur la composition et sur le traitement des mortiers se trouve indiqué, avec beaucoup d'autres faits du même ordre, dans les nombreux mémoires que M. Coignet a présentés à la Société (depuis longtemps déjà), et aussi dans des ouvrages séparés que M. Coignet a publiés sur cette matière (à propos de la fabrication des bétons agglomérés).

M. Quéruel indique un moyen qu'il a employé pour enfoncer des pieux dans du sable compact, et alors que l'action du mouton était tout à fait inefficace.

Le moyen consiste à lancer un jet d'eau très-puissant sur le point où on veut enfoncer le pieu, et à placer ce dernier latéralement au jet. L'affouillement produit par le jet d'eau permet au pieu de descendre seul, et M. Quéruel est arrivé ainsi à des profondeurs de plusieurs mètres.

M. Lavezzari indique un autre moyen qui consiste à ébranler fortement le pieu. L'enfoncement se produit et il s'arrête aussitôt qu'on cesse de remuer le pieu.

M. le Président remercie M. Lavezzari de son intéressante communication.

MM. Camacho, Claret, Fockedey Étienne et Vallot ont été admis comme membres sociétaires.

Digitized by Google

Séance du 15 Juin 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juin est adopté.

M. Dupuis (Edmond) demande la permission d'expliquer par quelques mots la remise faite par lui, à la dernière séance, de plusieurs exemplaires de la séance du 18 février 1877 de la Société de l'Industrie minérale (District du Centre).

Dans sa très-intéressante communication du 4 mai sur les aciers sans soufflure, M. Euverte s'est tout naturellement et d'une façon à peu près exclusive occupé des recherches et tâtonnements faits à cet égard aux usines de Terre-Noire.

M. Dupuis a pensé que quelques renseignements, touchant le côté historique de ces études, répondraient au désir de ceux de ses Collègues que ces questions intéressent.

S'il est inutile de rappeler que cette fabrication des moulages en acier sans soufflure a, depuis longtemps, atteint une grande perfection dans les usines allemandes et de Westphalie, que ces usines n'ont pas seulement envoyé de beaux échantillons aux Expositions de 1855 et 1867, et ont fait depuis, aux diverses Compagnies de chemins de fer, d'importantes livraisons de roues pleines, croisements, etc.; du moins convient-il de signaler quelques-unes des études poursuivies *en France* dans le même sens et avec le même objectif qu'à Terre-Noire.

C'est dans ce but, et pour ceux de ses collègues qui ne font pas partie de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, que M. Dupuis a cru devoir appeler l'attention sur une note fort intéressante de M. Mussy, publiée dans le procès-verbal du 18 février 1877.

On y trouvera quelques détails sur les travaux déjà faits depuis longtemps par les usines du Centre, sur les aciers sans soufflure; on y verra également le résumé d'un mémoire très-complet d'un professeur de l'Académie de Przibramm, sur l'influence du silicium et du manganèse dans les aciers.

Enfin, quant à la question qu'a traitée d'abord M. Euverte, celle des moulages en fonte dure, cette note montre qu'elle a été résolue depuis 1867-68 par l'usine de Saint-Jacques, à Montluçon.

M. le Président expose que dans la présente assemblée générale il doit être soumis au vote de la Société la modification proposée à l'article 20 des

Digitized by Google

statuts par MM. Maldant, Deligny, Quéruel, E. Roy, Fleury et Gélot, dans l'assemblée générale du 17 novembre 1876.

Il rappelle les phases diverses qu'a suivies cette question : Le vœu exprimé et la proposition faite de conférer la présidence au même sociétaire pour deux années consécutives; — la non-adoption dans ces termes de cette proposition; — la présentation au cours de la discussion d'un amendement tendant à formuler non pas l'obligation, mais la faculté de confier au même sociétaire la présidence pour deux années; — la prise en considération d'une proposition en ce sens, signée de MM. Maldant, Déligny, Quéruel, E. Roy, Fleury et Gélot; — enfin, la nomination d'une commission de cinq membres, formée de MM. Tresca, Molinos, Jordan, Maldant et Gaudry, pour procéder à l'étude de la modification proposée.

Le rapport de cette commission a été déposé, et, conformément au règlement, le comité a dû l'examiner et le transmettre à l'assemblée générale de ce jour avec ses observations.

Rapport du Comité à l'Assemblée générale

Sur la proposition de M. Maldant et cinq de ses collègues tendant à la modification de l'article 20 des statuts.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

L'article 20 de nos statuts porte que : « *La présidence ne peut être confiée « au même sociétaire pendant deux années consécutives.* »

Vers la fin de l'année dernière, M. le Président proposa de supprimer cette restriction et de rédiger ainsi cette partie de l'article :

« *Le président est élu pour deux années consécutives et n'est pas immédia- « tement rééligible.* »

Le comité alors en fonctions résolut de soumettre à la Société ce projet de modification aux statuts, et il fut mis en délibération dans l'assemblée générale du 17 novembre 1876.

Vous vous souvenez, Messieurs, que la proposition ne fut pas favorablement accueillie. Diverses objections furent élevées, la motion fut faiblement soutenue, et l'assemblée la repoussa à la presque unanimité.

Mais votre délibération avait éclairé la question, et six membres de la réunion, reprenant en leur nom un des éléments de la proposition rejetée, demandèrent non plus l'obligation, mais seulement la faculté d'élire un même président deux années de suite.

MM. Maldant, Deligny, Quéruel, Roy, Gélot et Fleury proposèrent la rédaction suivante :

« *La présidence ne peut être confiée au même sociétaire pendant plus de « deux années consécutives.* »

Cette proposition fut soumise à l'assemblée par le comité au point de vue

Digitized by Google

de sa prise en considération. Après discussion, la prise en considération fut mise aux voix et adoptée à la majorité.

L'assemblée décida ensuite de constituer une commission de cinq membres pour l'examen de la modification proposée.

La procédure suivie en cette occasion était celle prévue par le règlement pour les changements à introduire dans ce même règlement. Elle dépassait en quelque sorte les prescriptions des statuts.

MM. Tresca, Molinos, Jordan, Gaudry et Maldant furent élus membres de cette commission.

La commission se réunit dès le 30 novembre, approuva unanimement la modification soumise à son examen, et nomma rapporteur M. Molinos.

Le rapport de la commission est ainsi conçu :

« Rapport de la commission nommée par l'assemblée générale du 17 novembre 1876 pour examiner la proposition de M. Maldant, relative à la modification de l'article 20 des statuts.

« La commission s'est réunie le 30 courant, et je viens en son nom rendre compte au comité du résultat de ses délibérations.

« Les arguments qui ont déterminé l'assemblée générale à émettre un vote contraire à la proposition du comité ayant pour objet de rendre obligatoires pour deux ans les fonctions de président de la Société, se réduisent à deux principaux.

« La majorité a pensé qu'en imposant pour deux années la charge de la présidence, on pourrait la rendre assez lourde pour détourner de ces fonctions des membres qu'il serait très-désirable d'y appeler, et qu'on atteindrait ainsi un but contraire à celui qu'on se propose.

« Par contre, il pourrait y avoir quelques inconvénients à cette plus longue durée de la présidence, dans le cas où le Président en fonction cesserait pour une cause quelconque de rencontrer dans la grande majorité des membres de la Société la sympathie et le concours nécessaires.

« La commission a pensé que la proposition de M. Maldant échappait à ces justes critiques. C'est une disposition purement facultative dont la Société ne fera usage que si elle le juge convenable. Elle ne lui crée aucune obligation nouvelle et supprime au contraire une disposition qui, dans quelques cas particuliers, peut être gênante. La commission vous propose donc de la soumettre à l'approbation de l'assemblée.

« Paris, le 30 novembre 1876.

« Signé : MOLINOS, TRESCA, JORDAN, GAUDRY et MALDANT. »

Comme vous le voyez, Messieurs, le rapport fait par la commission conclut en lui proposant de soumettre à votre approbation la réforme projetée, et il appuie cette conclusion non pas sur les avantages que présenterait en elle-même cette proposition, mais seulement sur cette pensée que la réélection facultative échapperait aux deux critiques principales qu'avait soulevées l'élection obligatoire pour deux ans.

Digitized by Google

Peu de temps après le dépôt de ce rapport, le comité fut renouvelé par l'élection, et le comité que vous avez constitué pour l'année courante trouva inscrite à ses premiers ordres du jours cette question de l'article 20 des statuts.

Nous avons examiné le sujet avec beaucoup d'attention à la lumière des débats de votre assemblée générale du 17 novembre, et nous avons entendu les explications verbales de la commission.

Disons d'abord que nous avons été d'accord avec notre commission sur les deux considérations de son rapport. Nous pensons avec elle que la mesure projetée échappe en effet à deux objections présentées contre la proposition primitive.

Mais il nous faut dire ensuite que, sur le fond même de la question, le comité s'est trouvé partagé, la majorité trouvant que les motifs invoqués par la commission ne suffisaient pas pour proposer la rééligibilité à votre approbation, tandis que la minorité faisait remarquer que la commission n'avait pas insisté sur les avantages de la mesure proposée, justement parce que les motifs de cette proposition avaient fait l'objet d'une étude sérieuse du précédent comité et de l'assemblée générale, dont la commission était l'émanation directe.

Dans cette situation, le comité a cru devoir vous soumettre plus spécialement les objections soulevées par la majorité de votre comité actuel, qui pense que, pour vous engager à changer vos statuts, ce n'était pas assez de prouver que le changement proposé n'offrait pas d'inconvénients, mais qu'il fallait encore établir qu'il présentait des avantages appréciables.

Nous avons donc envisagé successivement ces deux points de vue.

Au point de vue de l'utilité de la réforme, nous reconnaissons qu'il est très-désirable qu'une certaine suite dans les idées règne dans la direction des affaires intellectuelles et matérielles de la Société, direction à laquelle le Président prend une part importante.

Mais nous nous sommes souvenus que beaucoup d'entre vous avaient montré que les statuts actuels avaient permis jusqu'ici et permettaient encore fort bien à la Société d'utiliser le dévouement et l'expérience des présidents dont elle a apprécié la valeur, puisqu'il suffit pour cela de les réélire une année après qu'ils ont quitté le fauteuil.

Il est vrai que la minorité objecte qu'une année d'interruption nuit à la continuité des idées et des projets.

Mais vous avez déjà paré à cet inconvénient possible, en décidant que les anciens présidents font de droit partie du comité. Celui qui atteint à l'honneur de présider notre Société, pour si attaché qu'il ait pu être auparavant à ses intérêts, lui devient plus dévoué encore : il ne saurait se désintéresser de ce qui importe à sa prospérité, il n'oublie pas en un an ce qu'il a pu préparer pour en assurer le développement.

L'utilité d'une réforme est donc tout au moins contestable.

Quant aux inconvénients qu'elle pourrait présenter, ils paraissent assez sérieux à la majorité du comité.

Digitized by Google

Le premier est inhérent à toute modification aux statuts. Déjà la Société a plusieurs fois reculé devant des innovations dont quelques-unes cependant avaient un côté séduisant. Elle a craint de porter la main sur les règles fondamentales qui ont jusqu'à ce jour favorisé son développement régulier. Elle a hésité devant la nécessité pour rendre valable un changement quelconque de ce genre, de solliciter et d'obtenir l'approbation de l'autorité supérieure.

De plus, la différence entre la faculté et l'obligation de conserver deux années de suite le même Président n'est pas aussi nette qu'on peut le penser au premier abord.

Dans les sociétés où cette rééligibilité existe, la réélection a toujours lieu en fait : la non-réélection passerait pour une avanie; on trouverait difficilement un candidat. On voit même la présidence s'immobiliser dans les mêmes mains dans les sociétés dont les statuts n'ont pas pris de précautions contre cet abus.

La majorité du comité trouve en conséquence que les points faibles de la proposition primitive se retrouvent presque tous dans celle qui nous occupe : accès d'un moindre nombre de sociétaires aux honneurs de la présidence, et par suite émulation moins vive, moindre variété dans la nature des sujets traités dans nos séances et dans nos comptes rendus.

Nous devons dire que la minorité n'a pas admis qu'en pratique la faculté de réélire entraînerait la réélection. Elle insiste sur la différence qu'elle voit entre les deux mesures.

Mais la majorité du comité pense que si l'on va au fond des choses, on trouve bien une différence, mais non pas à l'avantage de la rééligibilité. Au jour de la première élection d'un Président, s'il n'est pas certain de garder le fauteuil deux années, il ne pourra commencer avec sécurité aucune entreprise de longue haleine, et l'avantage déjà bien douteux qu'on recherche dans une présidence bisannuelle, sera encore bien moins assuré.

Chargé de la direction de vos travaux, pénétré des sentiments de sa responsabilité, le comité a voulu, avant d'ouvrir la discussion sur le rapport de votre commission, vous exposer les différents points de vue qui militent pour et contre l'adoption de la mesure proposée, afin que votre discussion ne laisse de côté aucun des points essentiels, et que votre décision, quelle qu'elle soit, se trouve fortement et sérieusement motivée.

M. Maldant demande la parole, et s'exprime en ces termes :

Je considère comme un devoir de défendre devant vous la nouvelle rédaction de l'article 20, que vous avez déjà prise en considération, et qui a été, depuis, unanimement adoptée par la commission que vous avez nommée dans votre précédente assemblée générale; vous excuserez, sans doute, ce qu'il y aura nécessairement d'incomplet dans cette défense, en songeant que c'est à l'improviste que j'essaie de répondre aux considérations d'un rapport écrit, et mûrement étudié et délibéré.

Ne doit-il pas, tout d'abord, vous sembler singulièrement surprenant et

Digitized by Google

inconséquent de voir aujourd'hui notre Comité, repousser et combattre une proposition dont il est l'auteur; car c'est lui qui en a pris l'initiative, qui nous en a démontré l'utilité, et qui nous a convoqués en assemblée générale pour la voter, en nous affirmant que presque tous les Présidents qui se succédèrent au fauteuil l'avaient jugée nécessaire.

La rédaction de la commission, que vous avez prise en considération, permet la présidence de deux ans que demandait le Comité; seulement, elle permit comme une faculté ce que le Comité demandait comme un droit. Or, dans une telle situation, ne pourrait-il pas sembler à quelques personnes, que notre Comité, refuse un peu par dépit la rédaction nouvelle de la commission, qui lui accorde sa demande; parce qu'en approuvant cette rédaction, l'assemblée générale s'est permis d'amender la sienne propre?

Ce point de vue n'a certainement pas échappé au Comité, car vous avez vu, avec quel soin, son rapporteur vous a expliqué que, depuis que la question était née, les élections générales avaient eu lieu; et que le Comité qui est aujourd'hui devant vous, n'est plus celui qui avait introduit la question le 17 novembre 1876.

Le désaveu d'un Comité par l'autre ne peut être ni plus complet ni plus net.

Cette explication subtile de M. le rapporteur a pourtant un tort grave; c'est de ne pas être foncièrement exacte : en effet, tous ceux d'entre nous qui, désapprouvant ou redoutant pour les intérêts sociaux les tendances du Comité, ont voulu essayer d'y faire pénétrer quelques collègues nouveaux savent, par bien des expériences infructueuses, que cela n'est pas facile.

La vérité simple et complète sur ce point c'est que l'ancien Comité n'a pas été remplacé, il a été réélu; c'est donc bien réellement, et quoi qu'on en puisse écrire, toujours lui, et lui seul, qui est aujourd'hui devant vous, combattant le projet dont il est l'auteur, et dont il devrait sans doute sembler plus naturel de lui voir revendiquer la paternité.

La commission, elle, ne doit pas se faire beaucoup d'illusions sur le sort final de cette discussion; puisqu'elle a aujourd'hui contre elle toutes les forces dont dispose le Comité, et qu'il ne s'agit pas, dans les questions statutaires, de voter à la *simple majorité*, mais bien de votes spéciaux nécessitant, pour l'admission d'une modification quelconque, au moins les *deux tiers* des voix présentes. Mais si, dans la discussion actuelle, la commission n'expose devant vous aucun amour-propre d'auteur, vous voudrez bien permettre à l'un de ses membres de rester conséquent avec elle, comme avec lui-même, en vous exposant, le plus complétement mais le plus brièvement possible, sa manière de voir.

Nous relevons encore, dans le rapport du Comité, deux arguments principaux :

« 1° Avec la réélection facultative, ce serait faire une avanie au Prési-
« dent d'un an, que de ne pas le réélire;

Digitized by Google

« 2° Enfin, l'article approuvé par la commission a été repoussé par la « majorité du Comité. »

Allons au fond des choses, comme nous venons déjà de le faire, et voyons encore simplement ce que valent ces deux objections :

La première de ces objections me semble si peu sérieuse, que c'est à peine si elle me paraît mériter qu'on s'y arrête; car, indépendamment de toutes les excellentes raisons qui ont déjà été discutées devant vous, et qui ont démontré que les Présidents eux-mêmes pouvaient, par des motifs de santé, d'occupations, de convenances personnelles ou autres, ne pas vouloir exercer deux années de suite la présidence; indépendamment de toutes ces raisons, disons-nous, n'est-il pas bizarre qu'on puisse dire, dans le siècle d'éligibilité où nous vivons, que les éligibles qui ne sont pas élus sont victimes d'une avanie?

Quant à nous, nous ne sommes pas de cet avis; et c'est peut-être parce que la majorité du Comité est d'une opinion contraire à la nôtre, et que ses membres sont rééligibles, que nous les voyons s'éterniser dans leurs fonctions.

On vous a dit aussi que, dans le vote du Comité, l'article de la commission avait été repoussé par la majorité du Comité : là encore, il est nécessaire de s'expliquer.

Votre commission se composait de cinq membres, dont trois anciens Présidents appartenant au Comité et deux d'entre nous. Trois des membres nommés avaient déjà parlé devant vous, dans un sens favorable à l'article que vous aviez pris en considération; un s'était abstenu, un autre (M. Tresca) s'était prononcé contre toute modification aux Statuts existants; mais, dès la première réunion, un accord complet s'est fait dans la commission, et c'est à l'unanimité qu'a été approuvé et signé son rapport.

Or, il est écrit dans notre règlement, que les travaux des commissions suivent la même marche que ceux des sections du Comité; et que les membres de la Société appelés dans les sections y ont *voix délibérative*. Si le Comité avait procédé ainsi, c'est-à-dire s'il avait fait voter vos deux collègues présents, et accepté comme vote la signature des trois anciens Présidents (membres du Comité et de la Commission), qui étaient absents; la majorité de trois voix qui a repoussé l'article, aurait été remplacée par une majorité de deux voix qui aurait dû vous en demander la confirmation définitive.

Je n'ajoute rien à ces explications, que j'ai cru devoir vous donner pour l'acquit de ma conscience, et de ma participation au mandat que vous aviez confié à votre Commission.

M. Marcué conteste l'opinion exprimée par M. Maldant que les membres de la commission auraient dû voter avec le comité. Le règlement ne le dit nullement, et, d'ailleurs, il tombe sous le sens que, le comité ayant à donner son avis sur la proposition de la commission, les membres du comité seuls ont à exprimer cet avis.

Il ajoute qu'à son point de vue le grand avantage de la présidence annuelle est qu'elle apporte de la variété dans les travaux de la Société.

Digitized by Google

M. Jordan ne croit pas qu'il soit exact de dire que le changement plus fréquent de Président amène plus de diversité dans les sujets traités par suite du changement de leurs spécialités. En repassant ce qui s'est passé depuis quelques années, on peut constater qu'on s'est occupé tout autant de métallurgie, par exemple, sous la présidence d'ingénieurs non métallurgistes que sous celle d'un spécialiste.

Il votera la proposition de la commission, et il rappelle que dans l'assemblée générale précédente où cette question a été discutée, tout le monde paraissait être d'accord sur son opportunité, et que si alors les statuts avaient permis de procéder immédiatement au vote, la majorité était évidemment acquise à cette proposition.

M. Péligot répond que la prise en considération a en effet été votée presque à l'unanimité, mais qu'il n'en eût pas été de même pour la proposition; beaucoup de membres qui ne l'auraient pas admise ont voté pour la prise en considération, parce que l'étude de la question leur paraissait intéressante.

M. Duroy de Bruignac est partisan de conserver ce qui existe. Un des arguments qui ont été donnés en faveur d'une présidence bisannuelle est que le membre investi de cet honneur a besoin d'un certain temps pour préparer sa présidence; ne pourrait-on donner satisfaction à ce désir en nommant, à l'assemblée générale de juin, le Président pour l'année suivante.

M. Maldant répond que la demande de M. de Bruignac constitue une proposition nouvelle, et que l'assemblée actuelle n'a qualité que pour voter ou repousser le texte de la proposition qui lui est régulièrement soumise en ce moment.

M. Régnard regrette que le rapport du comité parle de l'avanie qui serait faite aux Présidents non réélus la deuxième année. Le mot n'est pas juste. Tous les ans la Société nomme ses vices-présidents; souvent ils ne sont pas réélus et personne ne voit à cela d'avanie. Quelques ingénieurs éminents ont été élus plusieurs fois Présidents de la Société, jamais les Présidents qui n'ont eu cet honneur qu'une seule fois ne s'en sont formalisés. Pour sa part il ne croit pas que la présidence facultative pour deux années ait les inconvénients signalés dans le Rapport.

M. Badois dit que pour lui le principal inconvénient est de changer sans nécessité absolue et sans même un grand avantage un état de choses qui existe. La Société a été fondée il y a bientôt trente ans, et elle a prospéré avec ses statuts actuels. Bon nombre de ses membres les plus dévoués reconnaissent que quelques dispositions de ces statuts laisseraient à désirer. Mais, comme le principe en est bon, il faut éviter de le modifier à moins de raisons graves, et en tous cas ne le faire qu'après une étude d'ensemble au lieu de procéder par détail.

M. Périssé voudrait, au contraire, que les changements fussent faits au fur et à mesure que leur utilité est reconnue. Quant à la modification actuelle, elle est demandée par plusieurs de nos anciens présidents, MM. Muller, Jordan, Richard; c'est une raison suffisante de son utilité,

Digitized by Google

car nul mieux que nos présidents n'est à même d'en connaître l'opportunité.

M. Deligny rappelle qu'une étude d'ensemble a été faite par une commission nommée par une assemblée générale, que cette commission, dont il faisait partie, a beaucoup travaillé et a produit un mémoire très-complet. Ce travail a été enterré par le comité.

M. le Président fait observer que cette question n'est pas en discussion.

M. Arson ne croit pas que le moment soit opportun pour appliquer aujourd'hui la réforme de la présidence, en supposant qu'elle pût être adoptée plus tard. L'année 1878, en raison de l'Exposition, va mettre la Société dans une condition spéciale relativement à la nomination de son bureau, et il ne faudrait pas demander au Président qui sera nommé à cette occasion de rester en exercice pendant deux années.

M. Maldant regrette de ne pas pouvoir comprendre l'objection de M. Arson; car le raisonnement qu'il invoque aujourd'hui contre la rédaction de la Commission est précisément l'un de ceux que M. Maldant a employés lui-même, dans l'assemblée générale du 17 novembre 1876, à l'appui de cette rédaction.

En effet, l'article proposé alors par le Comité disait : « Le Président *sera* élu pour deux années consécutives; » celui de la Commission disait : « Le Président *pourra être* élu pour deux années consécutives. »

La critique de notre honorable Vice-Président ne peut donc s'appliquer qu'à l'ancienne rédaction du Comité, repoussée par l'assemblée générale du 17 novembre 1876; et non à celle qui vous est soumise en ce moment et qui n'accorde l'éligibilité du Président, pendant une seconde année consécutive de la première, qu'à titre *facultatif*.

M. Roy craint que dans l'esprit du comité subsiste toujours la pensée qui lui a fait proposer la présidence obligatoire pour deux années et repousser la réélection facultative. Le mot d'avanie que contient le rapport semblerait, en effet, établir une obligation morale de nommer toujours deux fois de suite le même Président. Il doit être bien entendu que par le vote de la proposition actuelle, le Président aurait aussi la liberté de refuser la réélection.

M. le Président pense que la discussion est épuisée. Il met aux voix la proposition de modifier l'article 20 des statuts dans le sens indiqué par la commission. Au lieu de :

« Article 20. — Les membres du comité et du bureau sont rééligibles, « mais la présidence ne peut être confiée au même sociétaire pendant deux « années consécutives. »

Cet article deviendrait :

« Nouvel article 20. — Les membres du comité et du bureau sont réé-« ligibles, mais la présidence ne peut être confiée au même sociétaire pen-« dant PLUS DE deux années consécutives. »

Le bureau constate que le vote pour l'adoption ne réunit pas les deux

Digitized by Google

tiers plus une voix des sociétaires présents exigés par l'article 32 des statuts.

En conséquence, la modification n'est pas adoptée.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. Loustau, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre de Sociétaires, qui était, au 15 décembre 1876, de. 1346
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de. 86

1432

A déduire, par suite de décès, pendant ce semestre. . . 13

Nombre total des Sociétaires au 15 juin 1877. 1419

Les recettes effectuées pendant le 1er semestre 1877 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, etc.).	25,332 12	30,132 12
2° Pour le fonds social inaliénable (8 exonérations).	4,800 »	
Il reste à recouvrer en droits d'admissions et cotisations. . .		39.662 »
Total de ce qui était dû à la Société.		69,794 12
Au 15 décembre 1876, le solde en caisse était de.	13,401 02	43,533 14
Les recettes effectuées pendant le 1er semestre de 1877, se sont élevées à.	30,132 12	

Les sorties de caisse du semestre se sont élevées à :

1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.).	25,927 45	35,241 05
2° Pour achat de 16 obligations du fonds courant.	5,313 60	
3° Pour remboursement de 8 obligations par conversion d'exonération (capital inaliénable).	4,000 »	
Il reste en caisse à ce jour..		8,292 09

dont 2,810 fr. 72 c. appartenant au capital inaliénable.

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante à la date du 15 juin 1877.

Digitized by Google

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.	5,481	37
2° De 81 obligations du Midi, achetées avant 1877, ayant coûté	25,944	80
3° De 16 obligations du Midi, achetées en 1877, ayant coûté.	5,313	60
	36,739	77

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° Un hôtel dont la construction a coûté.	278,706	90
2° En espèces.	2,810	72
3° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000	»
	287,517	62

Le Trésorier, dans le compte rendu de la situation financière, a rappelé qu'en vertu d'une décision du Comité, en date du 19 mai 1876, plusieurs possesseurs d'obligations de l'emprunt fait par la Société en juin 1872, s'étaient exonérés pendant le semestre écoulé, en abandonnant leur obligation de 500 francs et ajoutant un versement de 100 francs.

Huit obligations ont été retirées de la sorte; elles portent les numéros 40, 59, 66, 117, 120, 161, 162 et 171.

Dans une autre séance du Comité, du 6 avril 1877, il a été décidé que *cinq* obligations seraient remboursées en 1877, par un tirage au sort qui aurait lieu dans la réunion de la Société en Assemblée générale, le 15 juin 1877.

Il est procédé, séance tenante, au tirage au sort avec les formalités requises des cinq obligations à rembourser cette année. Sont amenés les numéros 5, 78, 99, 132 et 167.

M. LE PRÉSIDENT propose à l'Assemblée d'approuver les comptes qui viennent de lui être présentés, et d'offrir à M. Loustau, trésorier, les plus sincères remerciements pour sa gestion et son dévouement constant aux intérêts de la Société.

Ce vote a lieu à l'unanimité et par acclamation.

M. LE PRÉSIDENT proclame ensuite le résultat du concours pour la médaille d'or attribuée au meilleur mémoire inédit produit pendant l'année 1876.

Cette distinction a été décernée à la note de M. Gottschalk, sur le service du matériel et de la traction des chemins du sud de l'Autriche, et en particulier sur l'exploitation du Semmering et du Brenner pendant les années 1872 à 1875.

Ce travail fait suite à plusieurs notes semblables déjà présentées à la Société par le même auteur. En outre des renseignements très-intéressants qu'il fournit sur l'exploitation de ces lignes difficiles, M. Gottschalk expose dans ses travaux les résultats d'expérimentations et de statistiques établis suivant des méthodes ingénieuses et efficaces dans le but d'élucider et de

Digitized by Google

mettre en lumière des faits longtemps discutés. Il y a là des éléments éminemment utiles au progrès du génie civil.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Poillon sur la théorie des pompes centrifuges simples.

M. Poillon dit que la théorie, généralement exposée dans les traités d'hydraulique, part de plusieurs hypothèses inexactes en fait. On suppose l'eau introduite dans le tambour mobile *sur l'axe même et sans vitesse initiale*. Cela est évidemment contraire à la réalité; et n'est-il pas invraisemblable d'admettre que le débit (quantité parfaitement réelle pourtant) entre dans la pompe par une section nulle et avec une vitesse *nulle?* — Zéro, multiplié par zéro, donne zéro.

La théorie que M. Poillon expose (et qui est due à M. le baron Greindl) ne diffère de la théorie ordinaire *que par* l'introduction dans les calculs de la vitesse *initiale* de l'eau arrivant à la pompe, et par l'introduction dans ces mêmes calculs des distances réelles de l'axe auxquelles l'eau pénètre dans le tambour. Ce n'est donc pas une théorie *contraire* à des principes de mécanique généralement admis; mais c'en est une dans laquelle on ne néglige plus des quantités qui ont leur influence. On comprend que la considération de ces quantités conduit naturellement à un système d'équations différent de celui des traités classiques; et, ceci dit, il ne reste plus qu'à faire une espèce de table des matières pour que l'ensemble du travail puisse être apprécié d'un coup d'œil. Dans l'étude qui suit, M. Poillon fait d'abord abstraction des frottements. Pour fixer les idées, il commence par étudier une pompe centrifuge dans laquelle les aubes se prolongent depuis la périphérie extérieure du tambour mobile jusqu'à une distance de l'axe égale au rayon du tuyau d'aspiration. Il étudie le mouvement d'un filet liquide le long d'une aube; et, introduisant les forces apparentes, il étudie ce mouvement relatif comme un mouvement absolu, et il applique le théorème des forces vives. Il arrive ainsi à une équation d'où il pourra tirer la vitesse de rotation à réaliser pour obtenir un débit déterminé à une hauteur également déterminée; et il établit, comme dans la théorie ordinaire, par des relations trigonométriques des équations, dont la dernière sert à trouver l'expression du rendement ou effet utile. Partant de cette expression on arrive à fixer par une autre équation les conditions de rendement maximum.

Le groupe d'équations ci-dessus étant établi, M. Poillon remarque qu'au point de vue du rendement, un élément important à considérer est la *longueur de l'aube*, c'est-à-dire la différence entre le rayon extérieur du tambour mobile et son rayon intérieur ou rayon de l'orifice d'introduction d'eau, bien que généralement l'on n'en tienne aucun compte, et que l'on commence par supposer ce dernier rayon égal à *zéro*. Appelant R le rayon extérieur et r le rayon intérieur, il trace pour une pompe une courbe représentative des valeurs du rendement en faisant varier r depuis 0 jusqu'à R.

Digitized by Google

Remarques diverses. — Avantages qu'il y a à prolonger les aubes *jusqu'à l'arbre* du tambour. Comment on peut ne prolonger les aubes que partiellement jusqu'à l'arbre en les y raccordant par une courbe parabolique, et obtenir néanmoins le même résultat qu'en les prolongeant complétement.

Limites pratiques dans lesquelles on peut réduire la valeur de r et section d'entrée de l'eau dans le tambour mobile.

Étude de l'influence de l'angle γ formé par l'extrémité de l'aube avec la tangente à la circonférence du tambour mobile. Épure mettant en évidence l'influence des variations de γ sur le rendement. Autre épure mettant en évidence l'influence des variations de la vitesse de rotation avec γ constant.

Démonstration de ce que l'on peut, sans erreur sensible, considérer la pression à la sortie des aubes comme exprimée par $H_1 + h$. (H_1 pression atmosphérique, h hauteur du niveau de refoulement au-dessus du centre de la pompe.)

Démonstration de l'inopportunité de donner à l'eau une vitesse considérable dans l'espace annulaire. Examen théorique du cas particulier que réaliserait une pompe centrifuge si par des dispositions convenables on arrivait à transformer en pression toute la vitesse absolue V de l'eau à la sortie du tambour mobile (cas, du reste, irréalisable en pratique).

Etude des frottements et pertes de charge. Équation complète du mouvement relatif en en tenant compte. Détermination expérimentale du travail perdu par les frottements dans une pompe donnée. Application des considérations précédentes à une série d'expériences faites par le général Morin sur une pompe Appold. Remarques.

Exemple numérique pour faire ressortir les avantages obtenus par une détermination rationnelle du rayon r intérieur des aubes. Pompe décrite dans le vol. 19 de la publication industrielle Armengaud, planche XXIV. Différences dans les résultats suivant que r est supposé pris au hasard ou déterminé par la théorie ci-dessus. Observations diverses et conclusion.

M. Arson critique le changement brusque de direction imposé au liquide qui pénètre dans l'appareil; il critique également le changement de direction et sans doute la perte de vitesse imposée à la sortie. Il n'est pas douteux, suivant lui, que le problème consistant à profiter d'abord de la puissance vive que possède l'eau en entrant dans l'appareil, et à ne lui donner à sa sortie que la vitesse strictement utile pour l'effet à produire, il faut, comme dans les turbines, éviter tout changement brusque de direction, soit à l'entrée soit à la sortie.

M. Poillon se déclare prêt à répondre à ces critiques, lorsqu'aura lieu la discussion sur la théorie qu'il présente.

M. Marché remet à la Société une série de tableaux statistiques relatifs à l'exploitation des chemins de fer français.

Ces tableaux concernent les six grandes Compagnies et ont été dressés pour les années 1868 et 1876, ils permettent donc de comparer le trafic et les dépenses à huit années d'intervalle.

Les chiffres sont fournis pour chacune des six Compagnies, en séparant

Digitized by Google

l'ancien et le nouveau réseau. Le résumé ci-après, concernant l'ensemble des anciens réseaux, permet d'apprécier le développement du trafic d'autant plus que les conditions d'exploitation et le prix de revient sont restés à peu près les mêmes :

Anciens réseaux.

DÉSIGNATION.	1868.	1876.
Longueur exploitée.....	7770k	9164k
Unités kilométriques [1].....	8.393.865.000	10.889.572.000
Nombre d'unités à la distance entière par jour...	2959	3245

1. En assimilant le voyageur, la tonne de marchandises à petite vitesse et le septième de la tonne d'accessoires à grande vitesse.

L'augmentation du trafic a donc été en huit ans de 9.6 pour 100.

Les conditions d'exploitation ont été les suivantes :

DÉSIGNATION.		1868.	1876.
Nombre de trains par jour à la distance entière...		27t	28t.8
Chargement du train moyen en unités.....		110u	112u.7
Prix de revient	du train kilomètre moyen.....	2f.67	2f.89
	par unité à un kilomètre.....	0f.02.41	0f.02.55
	par tonne kilométrique de poids brut total.	0f.01.11	0f.01.16

M. Marché se propose d'entretenir prochainement la Société des conclusions à tirer de ces comparaisons.

M. Marché présente de la part de M. Eugène Péreire, membre de la Société, le modèle d'une *machine à compter*, inventée en 1751 par Jacob-Rodrigue Péreire.

Cet appareil est intéressant à examiner à titre de curiosité historique, car il a été construit ou plutôt reconstitué d'après la description donnée à l'Académie des sciences dans un rapport de Mairau et De Parcieux du 5 mai 1751.

M. Marché indique la théorie de la machine et en décrit le mécanisme.

M. Arson insiste sur l'intérêt de cette machine, qui non-seulement additionne, mais surtout donne la soustraction.

MM. Chansselle, Drugmand, Finet, Henrich, de Kossuth, Knab, Laprade, Love, Maisonneuve, Merkl, Morel, Roger, Rousseau, Schmitz et Zimmer ont été admis comme membres sociétaires.

Digitized by Google

NOTE

SUR LA

RÉALITÉ DES QUANTITÉS

DITES IMAGINAIRES[1]

DE LA FORME $a + b\sqrt{-1}$, ETC.,

PAR **M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ.**

PREMIÈRE PARTIE

I

Observations préliminaires.

1. PREMIÈRE OBSERVATION. — On convient en algèbre que :

$$(+1)\times(+1)=+1.$$

De cette convention résultent les équations suivantes :

$$(+1)\times(-1)=-1,$$
$$(-1)\times(-1)=+1,$$
$$(-1)\times(+1)=-1.$$

Comme il y a, pour chaque quantité, *parité mathématique*, ou, si l'on préfère cette expression, *symétrie*, entre les deux sens opposés désignés par + et par —, rien n'empêche d'intervertir, pour telles ou

1. Un résumé de cette Note se trouve inséré au procès-verbal de la séance du 19 mai 1876.

Digitized by Google

telles quantités que l'on voudra, l'affectation des signes + et — aux deux sens selon lesquels interviennent ces quantités. On pourrait donc, tout aussi bien, convenir que :

$$(+1)\times(+1)=-1;$$

et, de cette convention, résulteraient alors les relations :

$$(+1)\times(-1)=+1,$$
$$(-1)\times(-1)=-1,$$
$$(-1)\times(+1)=+1.$$

2. Interprétation géométrique. — Dans la première hypothèse (fig. 1, pl. 96), les rectangles construits sur $+x$ et $+y$ dans l'angle $(+x)\,o\,(+y)$, et les rectangles construits sur $(-x)$ et $(-y)$ dans l'angle $(-y)\,o\,(-x)$ sont *positifs*, c'est-à-dire affectés du signe +, tandis que les rectangles construits sur $+x$ et $-y$ dans l'angle $(+x)\,o\,(-y)$, et les rectangles construits sur $-x$ et $+y$, dans l'angle $(-x)\,o\,(+y)$, sont affectés du signe —.

Dans la seconde hypothèse, c'est le contraire (fig. 2). Les rectangles construits sur $+x$ et $+y$, dans l'angle $(+x)\,o\,(+y)$, ou sur $-x$ et $-y$, dans l'angle $(-x)\,o\,(-y)$, sont affectés du signe —, et les rectangles construits sur $+x$ et $-y$, dans l'angle $(+x)\,o\,(-y)$, ou sur $-x$ et $+y$, dans l'angle $(-x)\,o\,(+y)$, sont affectés du signe +.

Remarquons que, dans l'un et dans l'autre système, les produits de quantités de même signe $(+1)\times(+1)$ et $(-1)\times(-1)$ sont tous deux de même signe, opposé au signe commun de $(+1)\times(-1)$, et de $(-1)\times(+1)$, c'est-à-dire que :

$$[1]\quad [(+1)\times(+1)]=[(-1)\times(-1)]=-[(+1)\times(-1)]$$
$$=-[(-1)\times(+1)].$$

3. Deuxième observation. — Si l'on considère un nombre quelconque m, abstraction faite de tout sens et par conséquent de tout signe, il est clair que le produit d'une quantité $+a$, ou $-a$, par le nombre m, sera respectivement égal à $+ma$ ou à $-ma$.

Or, en raison de la première convention :

$$(+1)\times(+1)=+1,$$

on aura :

$$(+1)\times(+m)=+m;$$

Digitized by Google

on aura, d'ailleurs, ainsi que nous venons de le voir :

$$(+1)\times m=+m;$$

donc, comparant les deux équations précédentes, on trouve que :

$$m=+m;$$

c'est-à-dire que les quantités dépourvues de signe doivent être assimilées aux quantités munies du signe +.

Si, au contraire, on adoptait la deuxième convention, savoir :

$$(+1)\times(+1)=(-1),$$

on aurait : $(+1)\times(-m)=+m.$

Or : $(+1)\times m=+m;$

donc : $m=-m,$

c'est-à-dire que les quantités dépourvues de signe devraient être assimilées aux quantités munies du signe —.

4. Corollaire. — On aura à choisir, exclusivement, entre les deux conventions suivantes, où l'on représente encore par m les quantités dépourvues de signes.

CONVENTION PREMIÈRE. (Celle adoptée en général.)	CONVENTION DEUXIÈME.
$(+1)\times(+1)=+1,$	$(+1)\times(+1)=-1,$
$(+1)\times(-1)=-1,$	$(+1)\times(-1)=+1,$
$(-1)\times(+1)=-1,$	$(-1)\times(+1)=+1,$
$(-1)\times(-1)=+1,$	$(-1)\times(-1)=-1,$
$(+1)\times m=+m,$	$(+1)\times m=+m,$
$(-1)\times m=-m,$	$(-1)\times m=-m,$
$m=+m.$	$m=-m.$

5. Observation. — Si les équations de la deuxième convention sont interverties, et placées de nouveau en regard des équations de la première convention, comme ci-dessous, on aura :

CONVENTION PREMIÈRE.	CONVENTION DEUXIÈME.
$(+1)\times(+1)=+1,$	$(-1)\times(-1)=-1,$
$(+1)\times(-1)=-1,$	$(-1)\times(+1)=+1,$
$(-1)\times(+1)=-1,$	$(+1)\times(-1)=+1,$
$(-1)\times(-1)=+1,$	$(+1)\times(+1)=-1,$
$(+1)\times m=+m,$	$(-1)\times m=-m,$
$(-1)\times m=-m,$	$(+1)\times m=+m,$
$m=+m.$	$m=-m.$

Digitized by Google

Il est facile de voir qu'on passe du premier système au second en désignant par le signe + ce qui était désigné par le signe —, et inversement. Et, comme les signes + et — n'ont qu'une signification d'*opposition*, sans différence de nature, il appert que les deux conventions n'ont pas de différence, en leur *essence*, et qu'il y a parité entre elles.

6. Corollaire. — Si les deux conventions ne diffèrent que par l'interversion des signes + et —, il est clair qu'on peut effectuer les calculs algébriques avec la convention deuxième aussi bien qu'avec la convention première.

7. Observation. — Tout ceci se peut représenter géométriquement. Soient deux axes de coordonnées rectangulaires $+x$, $-x$ et $+y$, $-y$ (fig. 1, 2 et 2 *bis*). Notons, dans chacun des quatre angles droits, le signe des produits des deux variables formant les côtés : on voit dans la figure 1 la représentation de la convention première ; dans la figure 2, la représentation de la convention deuxième, et dans la figure 2 *bis*, qui revient à la figure 2, dans laquelle les deux axes seraient retournés bout pour bout, la représentation de la même convention deuxième écrite comme il est indiqué à l'observation n° 5. Et, d'ailleurs, en comparant les figures 1 et 2 *bis*, on voit qu'on passe de l'une à l'autre en intervertissant les deux signes + et —.

II

Essence et réalité des quantités de la forme $a + b\sqrt{-1}$. Démonstration géométrique.

8. Remarque. — Faisons, actuellement, abstraction de toute convention de signe, et considérons une quantité x variant de $+\infty$ à $-\infty$. Nous pouvons désigner le nombre x, dépourvu de signe, par un carré arithmétique y^2, et considérer la quantité y^2 variant de $+\infty$ à $-\infty$.

On peut représenter la variable y^2 par deux directions issues d'un point d'origine, o, sur une même ligne droite.

On peut encore la représenter par une suite de surfaces quarrées, de

Digitized by Google

côté y, ayant leur sommet en o, et, construites sur deux directions perpendiculaires, $+ y'$, $- y'$; et $+ y''$, $- y''$ (fig. 4); les quarrés construits dans l'angle $+ y'\ o + y''$, étant affectés du signe $+$, et les carrés construits dans l'angle opposé étant affectés du signe $-$.

Ceci dit, considérons deux valeurs égales et de sens opposé de y^2: soient, $+ Y^2$ et $- Y^2$. Considérons la racine de $+ Y^2$, c'est-à-dire, selon la définition habituelle, la quantité qui, multipliée algébriquement par elle-même, c'est-à-dire encore qui, multipliée par elle-même, sous le même signe, reproduise $+ Y^2$.

Et considérons, de même, la racine de $- Y^2$, c'est-à-dire, selon la définition habituelle, la quantité qui, multipliée algébriquement par elle-même, c'est-à-dire encore qui, multipliée par elle-même, sous le même signe, reproduise $- Y^2$.

Les racines de $+ Y^2$ et de $- Y^2$ ne sont pas identiques; car, alors, leurs quarrés seraient identiques.

Ces deux racines ne sont pas égales et de signe contraire; car, alors, leurs quarrés seraient encore identiques.

Donc, ces deux racines ne sont ni égales, ni de signe contraire.

Cependant, d'après la représentation géométrique, indiquée par la figure 4, il est évident que ces racines existent; et, il est encore évident, qu'elles ont même valeur arithmétique Y.

Mais, puisqu'elles ne peuvent avoir ni même signe, ni signe contraire, elles ne peuvent se combiner sous les signes ordinaires $+$ et $-$ de l'addition et de la soustraction. Donc, ce sont des quantités *d'essences différentes : hétérousiques*, si l'on peut déduire ce mot de ἑτέρα, et, οὐσία; ou, si l'on préfère une expression plus euphonique et suffisamment exacte : *hétérologues*.

9. Corollaire. — Ainsi, il est erroné de considérer les quantités $\sqrt{-Y^2}$, autrement dit de la forme $b\sqrt{-1}$, comme des quantités *imaginaires*, c'est-à-dire, comme des symboles sans valeur numérique et sans existence réelle. Ce sont des quantités aussi réelles que les quantités de la forme $b\sqrt{+1}$, mais d'essence différente.

Si l'on suppose la convention première, les paires de signes : $+$ et $-$, ou $+\sqrt{+1}$ et $-\sqrt{+1}$, d'une part, et, d'autre part, la paire de signes : $+\sqrt{-1}$ et $-\sqrt{-1}$, désignent deux états ou plutôt deux essences distinctes de la grandeur.

Digitized by Google

10. Remarquons que, indépendamment de toute convention, il y a parité entre les deux signes + et —, parité entre les deux quantités $+Y^2$ et $-Y^2$, et, conséquemment, parité entre leurs racines algébriques.

11. Remarque. — Les racines algébriques de $+Y^2$ ne peuvent être régies que par la convention première, dans laquelle on a :

$$(+1)\times(+1)=(-1)\times(-1)=+1;$$

et les racines de $-Y^2$ ne peuvent être régies que par la convention deuxième, dans laquelle on a :

$$(+1)\times(+1)=(-1)\times(-1)=-1.$$

Ainsi, on se trouve en présence de trois sortes de quantités :

Les quantités de la forme $\sqrt{+Y^2}$;

Les quantités de la forme $\sqrt{-Y^2}$;

Les quantités primitives Y^2;

Les premières ne pouvant être régies que par la convention première, les deuxièmes ne pouvant être régies que par la convention deuxième.

Il arrivera de deux choses l'une : ou bien on conviendra que les quantités primitives, Y^2, seront régies par la convention première, comme les quantités de la forme $\sqrt{+Y^2}$, et alors on aura :

$$(\pm 1)^2=+1,$$

et, comme : $$(\pm\sqrt{+1})^2=+1,$$

on déduira : $$\pm\sqrt{+1}=\pm 1;$$

tandis que $\pm\sqrt{-1}$ sera irréductible avec ± 1. Dans ce cas, les quantités de la forme $b\sqrt{+1}$ seront les quantités dites *réelles*, et les quantités de la forme $b\sqrt{-1}$ seront celles dites, très-improprement, *imaginaires*.

Ou bien, on conviendra que les quantités primitives seront régies par la convention deuxième comme les quantités de la forme $\sqrt{-Y^2}$, et, alors, on aura :

$$(\pm 1)^2=-1,$$

et, comme : $$(\pm\sqrt{-1})^2=-1,$$

on déduira : $$\pm\sqrt{-1}=\pm 1;$$

tandis que $\pm\sqrt{+1}$ sera irréductible avec ± 1.

Digitized by Google

12. Corollaire. — Donc, impossibilité d'introduire symétriquement dans les calculs les quantités $b\sqrt{+1}$ et $b\sqrt{-1}$. Mais il y a deux hypothèses symétriques : la première identifie $b\sqrt{+1}$ aux quantités ordinaires, la deuxième identifie $b\sqrt{-1}$ aux quantités ordinaires.

13. Remarque. — Dans les deux cas, on se trouve en présence de deux *essences* de grandeur. La première, celle de toutes les grandeurs envisagées, en général, *à priori*, est caractérisée par la paire de signes antagonistes + et —; la seconde est caractérisée, dans le cas où l'on adopterait, par exemple, selon l'usage, la convention première, par la paire de signes antagonistes $+\sqrt{-1}$ et $-\sqrt{-1}$, signes que les Allemands et quelques géomètres français, trouvent plus simple de représenter, respectivement, par $+i$ et $-i$, et, que nous remplacerons souvent par une paire de symboles encore plus simples, telle que, par exemple : ↑ et —•; ou bien : ⊤ et —|; ou bien : ⊕ et ⊟•; etc.

En adoptant, pour fixer les idées, la première notation : ↑ et —•, on aurait les relations :

$$[2]\quad \begin{cases} (\uparrow 1)^2=(-\bullet 1)^2=-1=(+1)\times(-1)=(-1)\times(+1); \\ (+1)^2=(-1)^2=+1=(\uparrow 1)\times(-\bullet 1)=(-\bullet 1)\times(\uparrow 1). \end{cases}$$

III

Essence et réalité des quantités de la forme $a+b\sqrt{-1}$. Démonstrations algébriques.

PREMIÈRE DÉMONSTRATION.

14. Remarque. — Lorsqu'on introduit dans le calcul des quantités x, y, z, u, etc., différentes, rien n'empêche d'appliquer à telles quantités x, z, etc., l'une des conventions, et d'appliquer l'autre convention aux autres quantités y, u, etc. Seulement, il faudra régler quelle convention régira chacun des produits tels que xy, xu, etc., et, plus généralement, $x^m y^n$, $x^p u^r$, etc., et comment s'indiqueront l'addition,

Digitized by Google

la soustraction et autres opérations effectuées sur ces diverses quantités.

14 *bis*. Remarque.— Les quantités linéaires, quarrées, cubiques, etc., autrement dit de degrés 1, 2, 3,... étant des quantités distinctes, rien n'empêche d'adopter pour chacune d'elles telle convention qu'on voudra, indépendamment de la convention adoptée pour telles des autres. Ainsi, par exemple, on peut faire simultanément les conventions suivantes :

$$(+1)\times(+1)=\pm 1,$$
$$(+1)\times(+1)\times(+1)=-1;$$

ce dont la représentation géométrique est encore très-aisée. Ou bien. on peut faire simultanément ces deux autres conventions :

$$(+1)\times(+1)\times(+1)=+1,$$
$$(+1)\times(+1)\times(+1)\times(+1)=-1.$$

Ainsi de suite. Seulement, il sera nécessaire de déterminer, en chaque cas, comment s'indiqueront l'addition, la soustraction et autres opérations effectuées sur ces diverses quantités.

15. Corollaire. — Soient x et y deux quantités. On peut faire la convention première pour x, de telle sorte que :

[3] $$(+x)\times(+x)=+x^2;$$

et faire de même, par exemple, la convention première pour y, de telle sorte que :

[4] $$(+y)\times(+y)=+y^2.$$

D'ailleurs, si les deux quantités x et y sont supposées distinctes, et si l'on remarque que les signes $+$ et $-$ n'ayant qu'une signification d'antagonisme, et point de signification absolue, se peuvent distribuer indifféremment aux deux sens de chaque grandeur, rien n'empêche d'établir ensuite une relation entre x et y, et, par exemple, celle-ci :

[5] $$+y^2=-x^2.$$

Dans ce cas, les racines $+x$ de $+x^2$, et $+y$ de $+y^2$, ne sont pas des quantités identiques, car leurs quarrés seraient identiques.

Digitized by Google

Ces deux racines ne sont pas non plus des quantités égales et de signes contraires, car leurs quarrés seraient encore identiques.

Et cependant il est évident que ces racines existent toutes deux, puisque les relations [3] et [4] sont indépendantes et arbitraires.

Et il est encore évident que ces deux racines ont toutes deux même valeur arithmétique : $x = y$, car, dans chacune des équations [3] et [4], on voit qu'évidemment si un nombre n est multiplié par lui-même sous un même signe, tel que + ou —, ou autre symbole ne spécifiant aucune opération, son quarré ne peut avoir pour valeur arithmétique que n^2.

Puisque ces deux racines ne peuvent avoir ni même signe ni signe contraire, elles ne peuvent se combiner, sous les signes + et —, de l'addition et de la soustraction. Ce sont donc des quantités d'*essence* différente, des quantités *hétérousiques* ou *hétérologues*, si l'on peut employer ces mots.

16. Corollaire. — Les quantités $\sqrt{-x^2}$, autrement dit les quantités de la forme $b\sqrt{-1}$, ne sont pas des *imaginaires*, sans existence réelle : ce sont des quantités aussi réelles que les quantités de la forme $b\sqrt{+1}$, mais d'essence différente.

17. Remarque. — Il y a symétrie entre les deux signes + et —, et entre les deux quantités $+x^2$ et $-x^2$, et, par conséquent, symétrie entre leurs racines algébriques.

18. Remarque. — Dans les deux équations [3] et [4], le signe +, considéré dans le terme $+x$, d'une part, et dans le terme $+y$, d'autre part, ne peut avoir la même signification. De là nécessité de remplacer, par exemple, dans l'affectation à y, la paire de signes $\pm$ par une autre ; soit $\pm\sqrt{-1}$, soit $\pm i$, soit ↑ et ↓, etc.

DEUXIÈME DÉMONSTRATION.

19. Remarque. — Si, en général, on avait adopté la convention première, la racine d'une quantité quelconque positive $+Y^2$, c'est-à-dire $\sqrt{(+Y)(+Y)}$ ou $\sqrt{(-Y)(-Y)}$, serait égale à $\pm Y$. Et la racine de $-Y^2$, c'est-à-dire $\sqrt{(+Y)(-Y)}$ ou $\sqrt{(-Y)(+Y)}$, serait une

Digitized by Google

prétendue imaginaire. Si, au contraire, on avait adopté, en général, la convention deuxième, la racine de $-Y^2$, c'est-à-dire $\sqrt{(+Y)(+Y)}$ ou $\sqrt{(-Y)(-Y)}$, serait égale à $\pm Y$. Et la racine de $+Y^2$, c'est-à-dire $\sqrt{(+Y)(-Y)}$ ou $\sqrt{(-Y)(+Y)}$, serait une prétendue imaginaire.

Toute difficulté serait levée, si on appliquait la convention première aux racines de $+Y^2$, et la convention deuxième aux racines de $-Y^2$. Mais alors la racine de $+Y^2$ serait $\pm Y$, telle que :

$$(\pm Y)^2 = +Y^2;$$

et semblablement, la racine de $-Y^2$ serait $\pm Y$, telle que :

$$(\pm Y)^2 = -Y^2.$$

Ainsi, les deux paires de racines de $+Y^2$ et $-Y^2$ seraient représentées toutes deux par le même symbole $\pm Y$. De là, pour éviter confusion, la nécessité de distinguer les deux racines de $-Y^2$, par exemple, au moyen de signes particuliers, tels que $\pm\sqrt{-1}$, ou $\pm i$, ou ↑ et ⊸, etc., lesquels représentent simplement une nouvelle essence de grandeur, et ne sont nullement imaginaires. Presque inutile de faire remarquer que $\sqrt{+Y^2}$ et $\sqrt{-Y^2}$ ont toutes deux même valeur numérique Y.

20. Corollaire. — Les quantités de la forme $b\sqrt{-1}$ sont des quantités réelles, c. q. f. d.

TROISIÈME DÉMONSTRATION.

21. Remarque. — Que l'on adopte la convention première ou la convention deuxième, c'est toujours $\sqrt{(+Y)(+Y)}$ et $\sqrt{(-Y)(-Y)}$ qui ont pour valeur $\pm Y$; et c'est toujours $\sqrt{(+Y)(-Y)}$ et $\sqrt{(-Y)(+Y)}$ qui ont une valeur prétendue imaginaire.

Voici d'où vient la difficulté apparente.

En général, on part de cette hypothèse qu'un nombre ne peut être affecté que du signe + ou du signe —; et de là on prétend que les racines de $(+Y)(-Y)$ ou de $(-Y)(+Y)$, n'étant ni un nombre positif ni un nombre négatif, *n'existent pas*, qu'elles ne sont rien qu'un *symbole* sans réalité.

Digitized by Google

D'autres disent : C'est une *imaginaire*, c'est un être de raison, qui comporte même des interprétations géométriques, mais, enfin, ce n'est pas une *quantité* dans le sens où on l'entend en algèbre.

Et ce ne sont pas là des mots en l'air, ou des propos d'amateurs ; non, ce sont des réponses de savants.

Il y a peu de semaines, l'un d'eux nous disait, en conversation, que $\frac{3\sqrt{-1}}{2\sqrt{-1}}$ ce n'était pas $\frac{2}{3}$, *ce n'était rien ;* ou, du moins, ajoutait-il, *on ne sait pas ce que c'est.*

Et si telles sont les opinions de maîtres en la science, opinions constamment reproduites dans les livres les plus importants, c'est que la question est encore neuve et mérite d'être élucidée.

Je reviens donc aux considérations premières de cet opuscule, et, d'abord, à cette remarque : qu'il y a *parité mathématique* ou (si l'on préfère cette expression) *symétrie* entre les deux signes + et —, de telle sorte qu'ils se peuvent échanger l'un dans l'autre, et désigner, de façons inverses, les deux sens antagonistes d'une grandeur.

Ajoutons cette autre :

22. Remarque. — Si on considère une seule quantité variable, x, on peut en spécifier les deux sens par les deux signes antagonistes + et —.

Mais si l'on considère une seconde quantité variable y, pourquoi distingue-t-on, ordinairement, les deux sens antagonistes de y par les deux mêmes signes + et — ? Cela n'a pas d'inconvénient tant qu'on ne sépare pas les signes + et — d'une lettre particulière, différente, telle que x ou y.

Mais, du moment qu'on substitue à ces lettres des valeurs numériques, la confusion se produit.

Ainsi, supposons, pour fixer les idées, que x représente des *forces* et y des *espaces ;* l'unité de force, correspondante à $x = 1$, sera représentée par $+1$; et l'unité d'espace, correspondante à $y = 1$, sera aussi représentée par $+1$. Et, de plus, l'unité de travail xy, supposée mesurée par le produit de l'unité de force et de l'unité de distance, sera représentée encore par $+1$.

Il serait beaucoup plus rationnel de caractériser les deux sens antagonistes de chacune des grandeurs que l'on introduit dans les calculs par deux signes spécifiques antagonistes.

Digitized by Google

Par exemple, on pourrait affecter à x ces deux signes $\overset{\bullet}{|}$ et $\multimap$. Et, de même que pour $x=1$, on écrivait : $+1-1=0$; on écrirait encore : $\overset{\bullet}{|}1\multimap 1=0$.

Nous marquons ici, selon l'usage, l'addition ou la soustraction de deux termes, armés de signes, par leur juxtaposition. En d'autres cas, nous trouverons plus commode de garder les signes $+$ et $-$, comme caractéristiques de l'addition et de la soustraction.

On pourrait de même affecter y de deux signes tels que $\top$ et $\dashv$, et affecter $x\,y$ de deux autres signes antagonistes : $\oplus$ et $\ominus$, et semblablement pour chaque variable :

$$x^2,\ x^3,\ \ldots.\ y^2,\ y^3,\ \ldots.\ x^m y^n,\ \ldots.\ x^m y^n z^p \ldots.$$

23. Remarque. — Quels que soient ces signes, les règles de leur multiplication seront fondées sur les trois principes que nous avons déjà rappelés à propos des signes $+$ et $-$.

Si on désigne, en général, par $\overset{\bullet}{\oplus}$ et $\boxminus$ deux signes antagonistes quelconques, par m et N deux quantités algébriques ou arithmétiques quelconques, on aura :

$$[6] \qquad m\times(\overset{\bullet}{\oplus}\,\mathrm{N})+m\times(\boxminus\,\mathrm{N})=0.$$

Autrement dit :

1° *Si dans un produit algébrique on change le signe de l'un des facteurs, le produit change de signe.*

24. Supposons que m soit un nombre dépourvu de signe, on aura :

$$[7] \qquad \begin{cases} m\times(\overset{\bullet}{\oplus}\,\mathrm{N})=\overset{\bullet}{\oplus}\,(m\mathrm{N}), \\ m\times(\boxminus\,\mathrm{N})=\boxminus\,(m\mathrm{N}). \end{cases}$$

Autrement dit :

2° *En général, la multiplication d'une quantité algébrique* N, *par un nombre* m, *ne change pas le signe de cette quantité, et multiplie simplement par* m *la valeur numérique de* N.

25. Corollaire. — Si les signes antagonistes $\overset{\bullet}{|}$ et $\multimap$, par exemple, affectent une quantité variable x, et si les signes antagonistes $\top$ et $\dashv$

Digitized by Google

affectent une autre variable y, les différents produits de $\overset{\bullet}{\top} x$ ou $\multimap x$, par $\top y$ ou $\dashv y$, posséderont deux sens antagonistes que nous représenterons, par exemple, avec deux signes : Φ et $\ominus$.

En effet, on aura :

$$[8] \quad [(\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\top 1)] = -[(\multimap 1) \times (\top 1)] = -[\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\vdash\!\!\!- 1)] = [(\multimap 1) \times (\dashv 1)].$$

Donc, on pourra représenter :

Les produits $[(\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\top 1)]$ et $[(\multimap 1) \times (\dashv 1)]$, par $\Phi\, 1$,

et les produits $[(\multimap 1) \times (\top 1)]$ et $[(\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\dashv 1)]$, par $\ominus\, 1$; c. q. f. d.

26. Remarque. — Les équations [8] ne sont que la généralisation des équations [1] et se peuvent énoncer ainsi :

3° *Le produit de deux signes est égal au produit obtenu en échangeant respectivement et simultanément ces deux signes contre leurs signes antagonistes ; et il est égal, et de signe contraire, au produit obtenu en échangeant un seul des deux signes contre son signe antagoniste.*

27. Corollaire. — En vertu des remarques et des corollaires précédents, on peut énoncer comme suit la règle générale de la multiplication des deux quantités x et y.

Règle générale. III.

$$\begin{aligned}
(\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\top 1) &= \Phi\, 1, \\
(\multimap 1) \times (\top 1) &= \ominus\, 1, \\
(\overset{\bullet}{\top} 1) \times (\dashv 1) &= \ominus\, 1, \\
(\multimap 1) \times (\dashv 1) &= \Phi\, 1, \\
m \times (\overset{\bullet}{\Phi} 1) &= \overset{\bullet}{\Phi}\, m, \\
m \times (\overset{\bullet}{\ominus} 1) &= \overset{\bullet}{\ominus}\, m.
\end{aligned}$$

Relation générale comprenant respectivement, comme cas particuliers, les conventions première et deuxième, selon qu'on pose :

$$\overset{\bullet}{\top} 1 = \top 1 = \Phi 1 = +1 ;$$

Digitized by Google

Ou bien :

$$-1 = -1 = \Phi 1 = -1.$$

Peut-être, demandera-t-on s'il est bien sûr que cette notation, pour rationnelle qu'elle semble, ne serait point incommode, ou n'exigerait pas de trop grands efforts de mémoire?

Autre question! que nous n'examinerons pas en ce moment. Disons seulement : 1° cette notation est rationnelle, et 2° nous en usons *actuellement*, comme d'un moyen de démonstration.

§ 28. Remarque. — Tout ceci posé, venons au fond de la question par les deux propositions suivantes :

1° *Si on multiplie par elle-même une quantité algébrique quelconque* ($\dot{\Phi}\, m$), *le produit quarré*

$$(\dot{\Phi}\, m) \times (\dot{\Phi}\, m),$$

ou, si l'on veut :

$$(\dot{\Phi}\, m)^2,$$

est une nouvelle espèce de quantité, laquelle varie suivant une loi particulière.

Si, en effet, $\dot{\Phi}\, m$ varie de $\dot{\Phi}\, \infty$ à $-\dot{\Phi}\, \infty$, la quantité $(\dot{\Phi}\, m)^2$ décroîtra d'abord depuis l'infini; elle s'annulera en même temps que $\dot{\Phi}\, m$; (c'est-à-dire en même temps que m) ; puis, elle recroîtra jusqu'à l'infini. Donc, alors que $\dot{\Phi}\, m$ change de sens, $(\dot{\Phi}\, m)^2$ n'en change pas.

Néanmoins $(\dot{\Phi}\, m)^2$ peut, de même que toute variable, être évidemment considérée suivant deux sens antagonistes.

Donc, il est rationnel d'affecter cette nouvelle variable, que nous désignerons par z, de deux nouveaux signes antagonistes Φ ou $-\Phi$, ou bien, pour simplifier nos transformations ultérieures, $+$ et $-$.

On pourra poser, par exemple :

$$(\dot{\Phi}\, m)^2 = +z.$$

29. 2° *Réciproquement, une variable quelconque,* $\pm z$, *considérée sous l'un quelconque de ses signes :* $+$, *par exemple, a toujours une racine algébrique.*

Digitized by Google

D'abord, si l'on multiplie par lui-même le nombre $\sqrt{z}$, on obtient le nombre z. En second lieu, on doit toujours admettre qu'il y a certaine qualification, marquée par deux signes antagonistes tels que $\overset{\bullet}{\oplus}$ et $\ominus$, par exemple, laquelle, appliquée au nombre $\sqrt{z}$, donne pour quarré :

$$[9] \qquad (\overset{\bullet}{\oplus}\sqrt{z})^2 = (\ominus\sqrt{z})^2 = +z.$$

Outre que cela est évident par raison géométrique (si on représente, ainsi que nous l'avons déjà fait, fig. 4, les variables $\pm z$ par une série de quarrés inscrits dans deux angles droits opposés par le sommet, d'où il résulte que les côtés de ces quarrés représenteront les racines), cela est encore très-clair au point de vue algébrique. Car, d'abord, si l'on niait qu'il en fût ainsi, on n'aurait plus le droit de poser, selon la convention première :

$$[10] \qquad (+1)\times(+1) = +1;$$

ou, suivant la convention deuxième :

$$[11] \qquad (+1)\times(+1) = -1.$$

Les relations conventionnelles [10] et [11] étant plus déterminées que la relation

$$[12] \qquad (\overset{\bullet}{\oplus}1)\times(\overset{\bullet}{\oplus}1) = +1,$$

dans laquelle deux espèces de signes ne sont pas assimilées arbitrairement. La relation [12] n'est que la généralisation des relations [10] et [11].

De plus, il est manifeste que, tant qu'on n'aura point déterminé la relation des signes $\overset{\bullet}{\oplus}$ et $+$, si on désigne par $\overset{\bullet}{\dagger}\, z$ un quarré quelconque :

$$(\overset{\bullet}{\dagger}\sqrt{z})^2,$$

ou bien :

$$(\multimap\sqrt{z})^2,$$

puisqu'on n'a établi aucune relation entre ces divers signes $\overset{\bullet}{\dagger}$ et $+$, on pourra toujours assimiler les quarrés $(\overset{\bullet}{\dagger}\sqrt{z})^2 = (\multimap\sqrt{z})^2$ et $(\overset{\bullet}{\oplus}\sqrt{z})^2 = (\ominus\sqrt{z})^2$ qui représentent des fonctions identiques de z, et poser la convention :

$$[13] \qquad \overset{\bullet}{\dagger}1) = (+1).$$

Digitized by Google

Or, comme il est évident, par raison de symétrie, que la relation du signe $\dagger$ avec le signe $\ddagger$ est identique à la relation du signe $\dot{+}$ avec le signe $+$, il résulte de la relation [13] les deux suivantes :

$$\left.\begin{aligned} \dot{+}\,1 &= \dagger\,1, \\ \dot{-}\,1 &= -\!\bullet\,1, \end{aligned}\right\} \text{ ou vice-versa ;}$$

desquelles on déduit :

[14] $$+z = (\dot{+}\sqrt{z})^2 = (\dot{-}\sqrt{z})^2.$$

C'est-à-dire que toute variable z affectée d'un certain signe $+$, par exemple, admet deux racines algébriques, réelles, de même valeur numérique égale à $\sqrt{z}$ et de signes antagonistes. c. q. f. d.

Semblablement, on démontrerait que la même variable z affectée du signe $-$ admet deux racines algébriques *réelles*, de même valeur numérique égale à $\sqrt{z}$, et de signes antagonistes, telles que :

[15] $$\left.\begin{aligned} -z &= (\dot{+}\sqrt{z})^2 \\ &= (\dot{-}\sqrt{z})^2. \end{aligned}\right.$$

Et les signes de ces deux dernières racines de $-z$ ne sont ni égaux ni antagonistes aux signes des racines de $+z$.

30. Corollaire. — *Les quantités de la forme* $b\sqrt{-1}$ *ne sont pas des* imaginaires, *mais des quantités* réelles *qui ont, chacune, valeur numérique égale à* b, *et qui, seulement, sont des quantités* sui generis, *des quantités d'une autre essence, et, partant, irréductibles par voie d'addition ou de soustraction ordinaires, avec les quantités de la forme* $b\sqrt{+1}$. c. q. f. d.

31. Remarque. — *Si une variable z est le produit de deux autres variables distinctes* $\dagger x$ *ou* $-\!\bullet\, x$ *et* $\top y$ *ou* $-\!\dashv y$, *quand même les valeurs arithmétiques des deux variables seraient égales, ni x ni y ne sont la racine de z. Cette racine est une nouvelle variable qui peut bien avoir identiquement même valeur arithmétique que les facteurs x et y, mais qui ne saurait avoir le même signe.*

Que si on désignait simultanément les sens de x, y, z, par les caractères $+$ et $-$, il arriverait, comme fortuitement, que les racines de $+z$

Digitized by Google

auraient mêmes signes que les facteurs x et y. Mais, c'est une coïncidence particulière, et, jamais x et y, s'ils sont des quantités de nature distincte, ne seront les racines de z.

Exemple. — Soit x une force et y un espace, xy sera un *travail* T. La racine $\sqrt{\text{T}}$ de ce travail sera une nouvelle nature de grandeur. Ce ne sera pas une force ; ce ne sera pas un espace; et cependant ce sera une quantité bien réelle. Une fois formé le produit de x par y, je peux considérer T en lui-même, sans me préoccuper de la façon dont il a été obtenu; et, par suite, je puis considérer $\sqrt{\text{T}}$ comme une nouvelle grandeur.

C'est ce qu'on peut vérifier aisément en ce cas particulier. Car, un travail est égal à une puissance vive.

Écrivons donc :

$$\text{T} = \frac{1}{2}\, m\, \text{V}^2,$$

et, supposons $m = 2$, on aura :

$$\text{T} = \text{V}^2,$$

et,

$$\sqrt{\text{T}} = \text{V};$$

qui est bien une quantité *réelle*, distincte de la *force* et de l'*espace*.

32. *Autre forme de démonstration.* — Reportons-nous à la règle générale, troisième, et désignons par x et y les deux facteurs variables distincts, et par z le produit variable. On voit immédiatement que $\Phi\ z$ d'une part, et $\ominus\ z$ d'autre part, ont chacun une paire de racines *réelles* algébriques, qui ne sont, ni $\uparrow x$, ni $\multimap x$, ni $\top y$, ni $\dashv y$.

REPRÉSENTATION GÉOMÉTRIQUE.

33. Remarque. — On peut représenter (fig. 3) $\uparrow x$ et $\multimap x$ par des abscisses, $\top y$ et $\dashv y$ par des ordonnées perpendiculaires, et, $\Phi\ z$ et $\ominus\ z$ par les quarrés construits sur les deux variables x et y.

Si l'on considère la variable z en elle-même, sans se préoccuper des facteurs x et y, au moyen desquels elle a été obtenue, on peut représenter à nouveau z par un quarré variable.

Dans la figure 4, nous avons (n° 8) considéré un quarré, que nous

Digitized by Google

représentions alors par $+y^2$ et $-y^2$, et que nous représenterons désormais par $+\alpha^2$ et $-\alpha^2$, variant de $+\infty$ à 0, puis changeant de signe, et passant dans l'angle opposé pour y varier de 0 à $-\infty$.

Quelle que soit la convention adoptée, les deux côtés du quarré positif représenteront $\sqrt{+\alpha^2}$ ou $\alpha\sqrt{+1}$, et les deux côtés du quarré négatif représenteront $\sqrt{-\alpha^2}$ ou $\alpha\sqrt{-1}$.

Or, il y a un inconvénient à ce que deux directions différentes représentent la même variable.

De plus, comme en changeant le signe d'un des facteurs oa ou ob, on change le signe du produit, au lieu de placer deux quarrés de signes antagonistes, $+\alpha^2$ et $-\alpha^2$, en deux angles opposés, 1 et 3, il est plus rationnel de placer ces deux quarrés en deux angles adjacents 1 et 2.

Par ces deux raisons, nous sommes conduits (fig. 5) à modifier notre construction et à considérer $+\alpha^2$ comme un quarré construit dans l'angle 1, sur une abscisse $oa=\alpha\sqrt{+1}$, et $-\alpha^2$ comme un quarré construit dans l'angle 2, sur une ordonnée $ob=\alpha\sqrt{-1}$.

Ainsi, lorsque $+\alpha^2$ variera de $+\infty$ à 0, et qu'il sera réduit à zéro au point o, au lieu de le faire ressortir et recroître à nouveau dans l'angle opposé 3, nous le ferons ressortir et recroître dans l'angle 2, contigu, à gauche. Puis, si le quarré $+\alpha^2$, positif, change de signe en passant dans l'angle 2, situé à gauche de 1, de même le quarré négatif $-\alpha^2$, décroissant jusqu'à zéro, devra changer de signe et redevenir positif en passant de l'angle 2 dans l'angle 3, situé à gauche; ainsi de suite.

Donc, il est rationnel que α^2 soit positif dans les angles 1 et 3, et négatif dans les angles 2 et 4. Enfin, si oa représente $+\alpha\sqrt{+1}$, et si ob représente $+\alpha\sqrt{-1}$, il faut que oc représente $-\alpha\sqrt{+1}$, et que od représente $-\alpha\sqrt{-1}$.

Nous arrivons, par voie rationnelle, à la *nécessité* de la représentation, usitée, des quantités $b\sqrt{-1}$ par des ordonnées perpendiculaires à l'axe des abscisses, lequel représente les autres quantités.

IV

Observations et conséquences diverses. Interprétations géométriques.

34. Observation. — Les quantités $b\sqrt{+1}$ et $b\sqrt{-1}$ sont irréduc-

Digitized by Google

tibles par voie d'addition ; mais leurs quarrés sont réductibles par voie d'addition.

Ainsi, les quantités $b\sqrt{+1}$ et $b\sqrt{-1}$ sont régies, respectivement, par deux conventions opposées, tandis que leurs quarrés sont tous deux régis par la même convention.

Ceci explique pourquoi les puissances et les racines successives de $\sqrt{-1}$ sont (à supposer que ce soit $b\sqrt{+1}$ qui soit régi par la convention première, et qu'ainsi $\sqrt{-1}$ soit, comme on dit, *imaginaire*).

[16]
$$\left\{\begin{array}{l}\vdots\\ (\sqrt{-1})^{-3} = +\sqrt{-1},\\ (\sqrt{-1})^{-2} = -1,\\ (\sqrt{-1})^{-1} = -\sqrt{-1},\\ (\sqrt{-1})^{0} = +1,\\ (\sqrt{-1})^{1} = +\sqrt{-1},\\ (\sqrt{-1})^{2} = -1,\\ (\sqrt{-1})^{3} = -\sqrt{-1};\\ \vdots\end{array}\right.$$

série où l'on passe, à chaque terme, d'une *nature* de quantités à une autre *nature* de quantités ; et où l'on passe, à chaque deux termes, d'un signe à un autre signe.

Tandis que dans la série des puissances successives d'une quantité $+1$, régie par la convention deuxième :

[17]
$$\left\{\begin{array}{l}\vdots\\ 1^{-3} = +1,\\ 1^{-2} = -1,\\ 1^{-1} = +1,\\ 1^{0} = -1,\\ 1^{1} = +1,\\ 1^{2} = -1,\\ 1^{3} = +1,\\ \vdots\end{array}\right.$$

Digitized by Google

les termes conservent tous la même nature et changent de signe à chaque fois.

35. Observations sur les racines et puissances de ± 1 et $\pm\sqrt{-1}$.

Résumons quelques calculs effectués depuis longtemps (par Argant, Mourey, Cauchy, M. Clayeux, etc.), nous proposant d'en reprendre l'interprétation au point de vue des théories qui viennent d'être exposées.

Exemple. — Cherchons la racine quatrième de -1, c'est-à-dire $\sqrt{-1}$. Soit x cette racine algébrique; elle se compose de deux éléments : un signe et une valeur numérique, laquelle ne peut être que l'unité; puisque, si l'on multiplie un nombre quelconque de fois l'unité par elle-même, sous un même signe n'indiquant aucune opération, le produit (ainsi que nous l'avons vu au n° 15) ne saurait avoir valeur numérique autre que l'unité.

Quant au signe, on reconnaît immédiatement qu'il n'est ni $+$, ni $-$, ni $+\sqrt{-1}$, ni $-\sqrt{-1}$. Donc il est de nature *hétérologue* (si l'expression est permise), et avec les signes des quantités données, et avec les signes des quantités de la forme $b\sqrt{-1}$. Donc $\sqrt[4]{-1}$ est une nouvelle espèce de quantité hétérologue. (On dirait, dans le langage habituel, une nouvelle espèce d'*imaginaire !*)

Reste à savoir si cette quantité de forme $c\sqrt[4]{-1}$ ne peut se ramener aux quantités de la forme $b\sqrt{-1}$, ou

$$a + b\sqrt{-1}.$$

Pour le reconnaître, posons :

[18] $$(x + y\sqrt{-1})^4 = -1;$$

On aura alors :

$$(x + y\sqrt{-1})^2 = \pm\sqrt{-1};$$

et développant :

$$x^2 + 2xy\sqrt{-1} - y^2 = \pm\sqrt{-1}.$$

Ce qui exige,

[19] $$x^2 - y^2 = 0, \quad 2xy = \pm 1;$$

Digitized by Google

d'où :

$$x = \pm y = \pm \sqrt{\frac{\pm 1}{2}};$$

d'où il est facile de voir que la racine quatrième de -1 possède les quatre valeurs données par l'expression :

[20] $$\pm \frac{1}{\sqrt{2}} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{-1}.$$

36. Représentation géométrique. — Si l'on figure les quantités x par des abscisses, et les quantités $y\sqrt{-1}$ par des ordonnées perpendiculaires aux abscisses, les quatre valeurs de l'expression [20] détermineront les quatre sommets (soient $g\,h\,k\,l$ (fig. 6)) d'un quarré inscrit dans un cercle tracé du point origine o, pour centre, avec l'unité pour rayon. Les quatre rayons vecteurs, og, oh, ok, ol, ont même longueur : l'unité. Ils représentent, et par leur valeur arithmétique égale à *un*, et par les quatre directions où ils sont situés, les quatre quantités hétérologues contenues dans le symbole $\sqrt[4]{-1}$. Si au lieu de ramener directement ces quantités à la forme $a+b\sqrt{-1}$, on les désignait par des signes, il faudrait quatre nouveaux signes différents. Les deux premiers, désignant respectivement les quantités antagonistes og, ok, auraient même sens d'opposition que les signes $+$ et $-$; et les deux autres, désignant respectivement les quantités antagonistes oh, ol, auraient encore même sens d'opposition que les signes $+$ et $-$.

Mais l'emploi de ces nouveaux signes n'est nullement nécessaire, puisque les quantités $\sqrt{-1}$ se ramènent à la formule $a+b\sqrt{-1}$.

37. Racines de l'unité $\left(\sqrt[n]{\pm 1}\right)$. — Elles peuvent toutes se ramener à la forme $a+b\sqrt{-1}$, ainsi qu'on peut le démontrer, par exemple, au moyen du théorème de Moïvre.

En effet, si l'on a :

[21] $$(\cos A + i \sin A)^{\frac{1}{n}} = \cos \frac{A}{n} + i \sin \frac{A}{n},$$

comme on a, par exemple :

[22] $$\left\{\begin{array}{l} -1 = \cos \pi + i \sin \pi, \\ \quad = \cos 3\pi + i \sin 3\pi, \\ \quad = \cos 5\pi + i \sin 5\pi, \\ \quad \vdots \end{array}\right.$$

Digitized by Google

on déduit :

$$[23]\qquad \begin{cases} (-1)^{\frac{1}{n}} = \cos\dfrac{\pi}{n} + i\sin\dfrac{\pi}{n}, \\ \qquad\quad = \cos\dfrac{3\pi}{n} + i\sin\dfrac{3\pi}{n}, \\ \qquad\quad = \cos\dfrac{5\pi}{n} + i\sin\dfrac{5\pi}{n}. \\ \qquad\quad \vdots \end{cases}$$

Or, si n est entier, cette suite indéfinie de valeurs rentre dans une période de n valeurs distinctes; et ces n racines $n^{\text{ièmes}}$ de -1, sont toutes de la forme $a + b\sqrt{-1}$.

38. Représentation géométrique. — On obtient résultats semblables à ceux déjà indiqués au sujet de $\sqrt[4]{-1}$. Les équations [23] prouvent que les n racines $n^{\text{ièmes}}$ de -1 sont égales à n vecteurs aboutissant, sur la circonférence de rayon un, aux n points :

$$\frac{\pi}{n},\ \frac{3\pi}{n},\ \frac{5\pi}{n},\ \ldots\ldots\ \frac{(2n-1)\pi}{n},$$

c'est-à-dire aux n sommets d'un polygone régulier de n côtés. Chacun de ces n vecteurs représente, et par sa valeur arithmétique égale à l'unité, et par sa direction propre, les n quantités hétérologues contenues dans le symbole $\sqrt[n]{-1}$.

On pourrait désigner chaque vecteur par un signe distinct; mais cela est inutile, puisque chacune de ces quantités se peut décomposer sous la forme $a + b\sqrt{-1}$.

39. Remarque. — C'est un fait digne d'attention que chacune des racines de ± 1 (et par conséquent de $\pm\sqrt{-1}$ et de $\pm\sqrt[n]{\pm 1}$) ait valeur arithmétique égale à l'*unité*.

Nous vérifions ainsi, une fois de plus, que (n°s 15 et 35) si un nombre n est multiplié par lui-même, sous signes quelconques n'indiquant point une opération à effectuer, la valeur arithmétique du produit ne saurait être que n^2.

40. Corollaire. — Tous les radicaux algébriques se peuvent réduire à la forme $a + b\sqrt{-1}$. Par conséquent tous les radicaux algébriques sont des quantités réelles, lorsque toutes les quantités qu'ils renferment sont elles-mêmes réelles, de la forme $a + b\sqrt{-1}$.

41. Digression. — *Réalité des angles hyperboliques et de leurs sinus, cosinus*, etc.

Digitized by Google

Dans les calculs suivants, nous remplacerons constamment, pour abréger, le symbole $\sqrt{-1}$ par le symbole i.

Tout le monde connaît les formules :

$$[24] \quad \left\{ \begin{array}{l} e^{xi} = \cos x + i \sin x, \\ e^{-xi} = \cos x - i \sin x. \end{array} \right.$$

desquelles on déduit : [24 *bis*]

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos x = \dfrac{e^{xi} + e^{-xi}}{2}, \\ \sin x = \dfrac{e^{xi} - e^{-xi}}{2i}. \end{array} \right.$$

Si l'on remplace, dans les équations [24], x par xi, on obtient les équations :

$$[25] \quad \left\{ \begin{array}{l} e^{(xi)i} = e^{-x} = \cos(xi) + i \sin(xi), \\ e^{(-xi)i} = e^{x} = \cos(xi) - i \sin(xi); \end{array} \right.$$

desquelles on déduit : [25 *bis*]

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos(xi) = \dfrac{e^{x} + e^{-x}}{2}, \\ \sin(xi) = i \dfrac{e^{x} - e^{-x}}{2}. \end{array} \right.$$

41 *bis*. Première observation. — Les formules [25] et [25 *bis*] ont été déduites des formules [24] et [24 *bis*] en remplaçant, dans ces dernières, x par xi. Et réciproquement, si on remplace, dans les deux formules [25] et [25 *bis*], x par xi, on retrouve les formules [24] et [24 *bis*]. Les deux systèmes sont donc identiques. Seulement nous savons ce que c'est que cos x et sin x, au moins lorsque x est une quantité ordinaire : mais nous ignorons, *à priori*, ce que c'est que cos (xi) et sin (xi), lorsque x est encore une quantité ordinaire.

Rien n'empêche, comme point de départ, et sauf à constater plus tard si cela s'accorde rationnellement avec la coutume des notations algébriques et géométriques, de prendre les équations [25] ou [25 *bis*] comme les *définitions* des fonctions cos (xi) et sin (xi).

On peut, même, en substituant à x la variable $z = x + yi$, faire rentrer les équations [24], [24 *bis*], et [25], [25 *bis*], dans un même système général [26] et 26 *bis*], bien connu des géomètres :

$$[26] \quad \left\{ \begin{array}{l} e^{iz} = \cos z + i \sin z, \\ e^{-iz} = \cos z - i \sin z; \end{array} \right.$$

Digitized by Google

d'où l'on déduit: [26 *bis*]

$$\cos z = \frac{e^{iz} + e^{-iz}}{2},$$

$$\sin z = \frac{e^{iz} - e^{-iz}}{2i}.$$

Les formules [26] ou [26 *bis*] constitueront la définition de cos z et sin z.

41 *ter*. Deuxième observation. — On s'aperçoit immédiatement que les termes :

$$\frac{e^x + e^{-x}}{2}, \quad \frac{e^x - e^{-x}}{2},$$

sont les coordonnées d'une hyperbole équilatère :

[27] $$\left(\frac{e^x + e^{-x}}{2}\right)^2 - \left(\frac{e^x - e^{-x}}{2}\right)^2 = 1.$$

Aussi, ces deux mêmes termes : $\frac{e^x + e^{-x}}{2}$ et $\frac{e^x - e^{-x}}{2}$, découverts et utilisés déjà par Lambert, il y a plus de cent ans, ont été appelés : *cosinus* et *sinus hyperboliques*. On les écrit ainsi : Ch x et Sh x. En sorte que l'équation [27] peut se mettre sous la forme :

[27 *bis*] $$(\mathrm{Ch}\, x)^2 - (\mathrm{Sh}\, x)^2 = 1.$$

Au contraire, si l'on considère les expressions de cos (xi) et sin (xi) données par les formules [25 *bis*], on trouve :

[27 *ter*] $$\cos^2 (xi) + \sin^2 (xi) = 1 ;$$

ce qui signifie que : *les fonctions* cos (xi), sin (xi), *jouissent de la même propriété fondamentale que* cos x, sin x, *c'est-à-dire, que les sinus et cosinus des quantités* ordinaires (*appelées* réelles) *habituellement considérées dans la trigonométrie circulaire.*

Faire attention à ce que, si x est une quantité de nature ordinaire, cos (xi) est aussi une quantité de nature ordinaire ; tandis que sin (xi) est une quantité de *nature : i*. En sorte que : cos (xi) + sin (xi) est de la forme : $X + Yi$; X et Y étant des quantités ordinaires.

En remplaçant dans l'équation [27 *ter*], cos (xi) et sin (xi) par leurs valeurs [25 *bis*], on trouve pour équation de l'hyperbole équilatère :

[28] $$\left(\frac{e^x + e^{-x}}{2}\right)^2 + \left(i\,\frac{e^x - e^{-x}}{2}\right)^2 = 1.$$

C'est dans la formule [28] et non pas, comme on le fait d'ordinaire,

Digitized by Google

dans la formule [27], qu'il faut étudier les cosinus et sinus hyperboliques.

41 *quater*. Troisième observation. — Si l'on substitue dans les formules [26 *bis*], $x + yi$ à z, on obtient :

$$\cos(x+yi) = \cos x \cos(yi) - \sin x \sin(yi),$$
$$\sin(x+yi) = \sin x \cos(yi) + \cos x \sin(yi);$$

formules identiques à celles de la trigonométrie ordinaire.

42. Quatrième observation. — Les douze ou quinze relations que nous venons de rappeler sont assurément d'une grande utilité pratique. Cependant, elles ne peuvent satisfaire l'esprit qu'à deux conditions : 1° ne renfermer aucune variable véritablement imaginaire, ou privée d'interprétations ; 2° se transformer aisément, tant par un calcul algébrique que par une représentation géométrique, dans les formules analogues de trigonométrie ordinaire.

Or, nous avons assez dit, en ce mémoire, que les quantités de la forme $b\sqrt{-1}$ étaient *réelles*. Donc les douze ou quinze formules précitées ne renferment rien d'*imaginaire*.

Reste à en établir l'interprétation graphique ; reste à manifester l'identité des équations [24, 25, 26] par un algorithme simple. C'est ce qu'a fait M. Yvon-Villarceau, au moyen d'une considération lumineuse qui consiste à envisager l'angle, non plus comme le rapport de deux lignes, mais comme le rapport de deux surfaces. En effet, soit un arc de longueur x situé sur la circonférence de rayon 1 ; l'angle x a pour définition le rapport $\frac{x}{1}$ de l'arc au rayon. Mais on peut dire, aussi, que x étant égal à $2\left(x \times \frac{1}{2}\right)$ est égal à deux fois l'aire du secteur qui a pour base l'angle x. Et comme l'unité de surface est le carré du rayon, égal à l'unité, on peut définir l'angle comme *le rapport du double de l'aire du secteur à l'aire d'un quarré construit sur le rayon ; ou, ce qui revient au même, comme le rapport de l'aire du secteur à l'aire d'un secteur ayant pour base un arc de longueur :* un.

Or, de même que dans la circonférence de rayon 1, un angle x est le double de l'aire du secteur ayant base x, de même, si l'on considère l'hyperbole équilatère [26], ayant son demi-axe égal à *un*, on trouve,

Digitized by Google

semblablement, par le calcul le plus élémentaire, que xi représente le double de l'aire du secteur compris entre l'axe des abscisses, la courbe, et, le rayon vecteur partant du centre o de l'hyperbole (fig. 7) et aboutissant au point m qui a pour coordonnées :

$$[25\ bis] \qquad \frac{e^x + e^{-x}}{2} = \cos(xi), \qquad i\,\frac{e^x - e^{-x}}{2} = \sin(xi).$$

Mais il faut avoir soin de convenir que cette aire du secteur hyperbolique sera considérée comme l'intégrale des ordonnées $\sin(xi)$ multipliées par les différentielles des abscisses $\cos(xi)$, ou inversement. Car si l'on effectuait l'intégration par rapport à d'autres axes de coordonnées, le résultat changerait, non quant à sa valeur arithmétique, mais quant au sens et à la nature de son signe[1].

En résumé, par suite de la réalité des quantités xi, et par suite des considérations de M. Yvon-Villarceau, la théorie des sinus et cosinus hyperboliques est exempte de toute obscurité, et la trigonométrie hyperbolique est reliée, et exactement assimilée, avec la trigonométrie circulaire. A celle-ci appartiennent les formules essentielles [25, 25 *bis*] ; à

1. C'est chose facile à voir au moyen de la notation des *lignes géométriques* de Cauchy. L'équation

$$r'_{p'} \times r''_{p''} = (r'r'')_{p'+p''};$$

donne

$$1_p \cdot 1_{p+\frac{\pi}{2}} = 1_{2p+\frac{\pi}{2}}.$$

Or, en remarquant que $1_{2p+\frac{\pi}{2}}$ *peut être interprété*, non-seulement comme une ligne géométrique, mais aussi comme le carré construit sur 1_p et $1_{p+\frac{\pi}{2}}$, on voit que ce carré varie avec p.

Par exemple, on a, pour le système des axes x, et $y\sqrt{-1}$, l'équation :

$$1_o \cdot 1_{\frac{\pi}{2}} = 1_{\frac{\pi}{2}};$$

c'est-à-dire que les aires $\int\int dx\,d\,(y\sqrt{-1})$, sont de la forme $b\sqrt{-1}$. Tandis que si on se rapportait aux axes $1_{-\frac{\pi}{4}}$, $1_{\frac{\pi}{4}}$, bissecteurs des premiers, le produit serait 1_o, c'est-à-dire que les aires deviendraient des quantités ordinaires.

Digitized by Google

celles-là les formules [24, 24 *bis*]. Les deux trigonométries sont résumées dans les formules [26, 26 *bis*].

Du reste si l'on considère le cercle de rayon *un* comme la base d'un cône droit, et si l'on remarque que la parabole, avec sa forme toujours semblable, et toutes les ellipses et hyperboles se peuvent obtenir en coupant ce cône par des plans diversement inclinés (et supposés, par exemple, parallèles au diamètre qui, dans le cercle donné, aboutit à l'origine des angles), il est aisé de comprendre que les propriétés des figures de la trigonométrie circulaire devront se traduire, dans les projections, par des propriétés tantôt identiques et tantôt variées, susceptibles des plus utiles applications.

En ce qui concerne les lignes trigonométriques de l'hyperbole équilatère, plusieurs tables ont été calculées par divers auteurs ; notamment par madame Yvon-Villarceau[1].

1. Avant de quitter ce sujet, ajoutons que par cette nouvelle considération des angles, entendus comme rapports de surfaces, M. Yvon-Villarceau a pu représenter les fonctions elliptiques par des épures presque aussi simples que celles des fonctions circulaires. — Nous espérons revenir à ce sujet dans un autre Mémoire.

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

V

Interprétations physiques.

43. Interprétation géométrique. — L'irréductibilité des trois dimensions de l'étendue, autrement dit la différence d'essence de ces trois grandeurs, qui sont, chacune, *sui generis*, quels que soient d'ailleurs la valeur arithmétique et les signes qui les affectent respectivement, voilà une expression parfaite de l'irréductibilité que nous reconnaissons aux quantités algébriques.

Aussi, lorsque Argand, Mourey et Cauchy ont représenté les quantités de la forme $a + b\sqrt{-1}$ par deux coordonnées rectangulaires, a, et $b\sqrt{-1}$, cette méthode a révélé promptement d'immenses découvertes, lesquelles constituaient déjà une sorte de probabilité très-grande de la réalité des quantités dites imaginaires.

Application. — Il n'y a plus, dans les équations algébriques, de racines imaginaires, mais seulement deux espèces de racines hétérologues entre elles, et toutes deux également représentables géométriquement.

44. Interprétation physique. — *Remarque.* — Lorsqu'on écrit :

$$a + b\sqrt{-1} = a' + b'\sqrt{-1},$$

cette équation revient aux suivantes :

$$a = a',$$
$$b = b'.$$

La somme $a + b\sqrt{-1}$ comprend deux termes hétérogènes. Or,

Digitized by Google

la nature et l'art nous présentent une infinité de sommes hétérogènes.

Par exemple, chacun des trois règnes : de la nature animale, de la nature végétale et, jusqu'à nouvelles découvertes, de la nature minérale, est une somme de termes irréductibles entre eux.

VI

Interprétations métaphysiques.

45. Remarque. — La mémoire, l'intelligence, la volonté, sont, chacune, *sui generis*, et elles ne se peuvent réduire entre elles.

Il est intéressant de faire observer que l'irréductibilité des quantités $a + b\sqrt{-1}$, fait si mystérieux au temps peu éloigné où l'on nous enseignait, était, peut-être, le seul fait important des mathématiques qui n'eût pas d'interprétation métaphysique.

Les autres grands faits : le rapport négatif, le rapport incommensurable et le rapport infinitésimal, possèdent tous trois des significations métaphysiques et morales, ainsi :

Le rapport *négatif* représente l'opposition de sens de deux actions.

Le rapport *incommensurable* représente, selon quelques philosophes, une sorte de diversité d'essence [1].

Le rapport *infinitésimal*, c'est le rapport de Dieu à l'homme ou, plus généralement, du créateur à une créature ; c'est l'unique fondement de la théodicée ; c'est ce rapport dont Racine a dit si bien, en parlant de Dieu :

> « Il voit *comme un néant* tout l'Univers ensemble ;
> « Et les faibles mortels, vains jouets du trépas,
> « Sont tous devant ses yeux *comme s'ils n'étaient pas* (*). »

Qu'est-ce donc que représente le rapport dit imaginaire?

Il représente la *diversité irréductible* des *essences*, ou la *diversité irréductible des puissances d'une même essence.*

1. Comme l'a indiqué le Père Gratry.

(*) « Comme s'ils n'étaient pas! » — « Comme un néant! » C'est le *tanquam nihil* de l'Écriture Sainte.

Digitized by Google

Qu'est-ce qui constitue l'harmonie de l'Univers?

C'est que chaque être a une *fonction propre* qui ne doit être remplie que par lui. Or pour une *fonction propre*, il faut une *nature propre*, et, par conséquent, *irréductible* avec toute autre nature.

46. Digression sur le calcul infinitésimal — Quelques mots sur un sujet qu'il nous sera peut-être donné de traiter plus complétement un jour.

Nous tenons les quantités infinitésimales pour de véritables *zéros*. Cela ne veut pas dire *le néant*, assurément! mais cela veut dire quantités *nulles* par rapport aux quantités *finies* [1].

De même que l'homme est *zéro* par rapport à Dieu, bien qu'il ne soit pas un *néant*, mais, au contraire, un être *fini*.

On aura beau chercher, on ne trouvera pas, dans l'univers, autre interprétation métaphysique satisfaisante du rapport infinitésimal que le rapport de Dieu à l'homme.

Remarquons, d'ailleurs, que *zéro* n'est point égal à lui-même. Et c'est précisément pour cela qu'on n'a point le droit de multiplier ni diviser par une expression p égale à zéro les deux membres d'une équation : $M = N$. Car, par exemple, si $M = pA$, et $N = pB$, l'équation $pA = pB$ est encore satisfaite si A est différent de B. Alors le *zéro* pA est différent de *zéro* pB (*).

La considération des infiniment petits, comme quantités simplement *très-petites*, a cet inconvénient : que les différentes équations par où l'on passe pour arriver au résultat ne peuvent plus être considérées que comme approximations. Au lieu que, si l'on se place au point de vue philosophique élevé, en considérant la quantité *nulle* par rapport à la quantité *finie*, le calcul infinitésimal devient parfaitement rigoureux. C'est que, en même temps, il devient l'expression exacte de la nature des choses.

Il est bien vrai que la question est, le plus souvent, envisagée (et présentée dans les écoles) sous un jour tout différent. On *exprime* alors *par quantité infiniment petite toute quantité qui est considérée comme continuellement décroissante, tellement qu'elle peut être rendue aussi petite qu'on le veut.*

1. Nous suivons, en cette question, les doctrines originales et fortes établies par le Père Gratry, de l'Oratoire, ancien élève de l'École polytechnique. On peut consulter notamment sa *Connaissance de Dieu* et sa *Logique*.

(*) Voir la Note B à la fin du Mémoire.

Digitized by Google

Nous n'acceptons pas cette définition, et, bien que *Leibnitz* se soit parfois placé à ce point de vue, nous pouvons avoir confiance dans les grands hommes qui ont perfectionné ces théories, et considérer avec *Euler* les infiniment petits comme de véritables *zéros* (autrement dit des *évanouissantes*), ou, selon l'expression d'*Ampère*, comme des quantités *nulles*, *absolument nulles*. — C'est-à-dire zéro par rapport à des quantités finies ; nulles par rapport à des quantités finies : mais non pas le néant !

VII

Remarques générales sur les quantités imaginaires de diverses sortes.

47. Corollaire (des deux premiers paragraphes).

Puisque toutes les quantités algébriques, puisque un grand nombre des quantités dites imaginaires, produites par les fonctions transcendantes, puisque, enfin, toutes les racines des équations algébriques, et même, en général, toutes les racines des équations transcendentes se peuvent réduire à la forme $a + b\sqrt{-1}$, une grande partie, sinon la majorité, des quantités dites *imaginaires* considérées, *jusqu'ici*, dans l'analyse, sont des quantités *réelles*.

48. Remarque. — En général, une imaginaire apparaît lorsqu'on ne peut effectuer une certaine opération que nous indiquerons par $f(x)$, sur telle ou telle valeur α de x. On a alors une imaginaire

$$i = f(\alpha).$$

i est une valeur imaginaire de la fonction $y = f(x)$.

Si l'on fait l'opération inverse, que nous représenterons par :

$$x = \mathrm{F}(y),$$

on aura pour $x = \alpha$ une valeur réelle de $\mathrm{F}(y)$; ce que nous exprimerons par :

$$\alpha = \mathrm{F}(i).$$

Cette dernière équation constitue une définition de l'imaginaire i.

Digitized by Google

C'est une quantité telle que, soumise à l'opération marquée par F, *elle donne la quantité réelle* α.

Que si l'on introduit $i = f(\alpha)$ dans les calculs, en opérant comme on le ferait si cette quantité était réelle, et si on obtient ainsi des résultats exacts, cela peut arriver de deux manières :

Ou bien, les quantités $i = f(\alpha)$, que nous n'avions interprétées que comme quantités imaginaires, sont, par le fait, des quantités réelles. C'est ce qui est advenu pour les quantités de la forme $a + b\sqrt{-1}$.

Ou bien, on aurait droit d'introduire dans le calcul des quantités véritablement imaginaires ; mais qui seraient comme des ***raisons séminales*** des quantités réelles.

Cette dernière hypothèse est-elle admissible philosophiquement ?

Et, dans ce cas, quelles seraient les règles d'introduction de ces imaginaires ?

Les mathématiques ont déjà révélé ***tant de mystères à l'humanité*** que l'on se refusera, peut-être, à repousser absolument la seconde supposition tant qu'on n'aura pas démontré catégoriquement sa fausseté. On craindrait par là de fermer absolument, sans motif péremptoire, le champ d'investigations de la raison.

Quant à nous, au contraire, nous pensons que cette dernière hypothèse est absurde, et que l'introduction, dans le calcul, de quantités vraiment imaginaires ne saurait conduire à des résultats raisonnables.

Voici nos raisons :

1° Dans l'ordre métaphysique, et dans toute l'économie du monde, il n'y a pas de milieu entre l'***être*** et le ***non-être*** (autrement dit entre le ***possible*** et l'***impossible***) ; pas de milieu entre le ***réel*** et le ***faux*** ; et cela ni dans l'ordre des substances, ni dans l'ordre des idées ;

2° Dans le passage de la ***puissance*** à l'***acte*** : par exemple, dans le développement d'une semence, il n'y a pas de création nouvelle ; il n'y a pas non plus passage de l'***imaginaire*** au réel. Non, il y a simplement développement d'***une forme*** préexistante ; il y a ***évolution*** ; il y a passage d'un ***réel*** à un autre réel, ***génération*** d'un réel en un réel ; il n'y a point passage d'un imaginaire à un réel.

49. Conclusion. — Quand même des quantités imaginaires, fonctionnant comme quantités réelles, ne se pourraient réduire ni à l'expression $a + b\sqrt{-1}$, ni à aucune forme connue, il n'en demeurerait

Digitized by Google

pas moins très-probable qu'elles existent en *réalité*, bien qu'on n'ait pas encore découvert en quoi cette *réalité* consiste. En un mot, nous devons tenir comme *très-probable* qu'il y a là un fait d'*hétérologie* et rien de plus.

Cette opinion est appuyée sur tout ce qui nous apparaît dans les interprétations physiques et métaphysiques [1],

Tandis que l'opinion contraire n'aurait pour elle aucune probabilité positive et répugnerait à l'esprit.

VIII

Remarques sur les deux genres de signes usités en algèbre.

(Signes d'Opérations. — Signes de Nature.)

50. Remarque. — Il y a, en Algèbre, deux sortes de signes; les uns, tels que $\sqrt{\ }$, $\int$, sin, log, etc., indiquent une *opération* à effectuer.

Au contraire, les signes $+$ ou $-$ et $+\sqrt{-1}$ ou $-\sqrt{-1}$ (et, en général, toute paire de signes antagonistes) caractérisent un *état*, ou, pour mieux dire, une *nature* de grandeur.

Il est vrai que les deux mêmes caractères $+$ et $-$ servent aussi à indiquer l'addition et la soustraction; mais ce dernier usage (pour étendu qu'il soit) n'est point universel comme le premier. Car, on peut concevoir une immense variété d'opérations distinctes de l'addition et de la soustraction, tandis que jamais un terme algébrique ne doit être introduit dans les calculs, sans être déjà affecté, soit tacitement, soit expressément, d'un des signes $+$ ou $-$.

Si, même, on indique des additions ou des soustractions, les symboles $+$ et $-$ rempliront simultanément le double rôle de *signe de nature* et de *signe d'opération*. En effet, considérons, par exemple, la formule :

$$[29] \qquad +a-b-c+d;$$

1. Ce sont les interprétations métaphysiques qui, *seules*, ont fait comprendre la nature des quantités incommensurables et des quantités infinitésimales.

Digitized by Google

et supposons que a, b, c, d, soient simplement des nombres et ne renferment pas de signes ;

a, b, c, d, seront considérés, selon l'usage de l'algèbre, comme des quantités positives, en sorte que l'expression [29] pourra s'écrire :

$$(+a) - (+b) - (+c) + (+d),$$

ou bien :

$$(+a) + (-b) - (+c) + (+d),$$

et d'autres façons encore.

Aucune addition ne pourrait se faire si le signe des termes a, b, c, d, n'était déterminé, au moins tacitement.

51. Corollaire. — Les deux rôles distincts que remplissent les signes $+$ et $-$ peuvent se dédoubler. On peut, par exemple, conserver $+$ et $-$ pour indiquer *exclusivement l'addition et la soustraction*; et, au contraire, représenter par de nouveaux signes, tels que I et $-\!\bullet$, ou bien Φ et $\ominus$, etc., les deux modes antagonistes selon lesquels les grandeurs entrent dans le calcul. Si l'on représente par I le sens indiqué en général par $+$, d'où il résulterait que $-\!\bullet$ représenterait le sens indiqué tout à l'heure par $-$, l'expression [29], par exemple, s'écrira :

[30] $$(\mathrm{I}\, a) - (\mathrm{I}\, b) - (\mathrm{I}\, c) + (\mathrm{I}\, d).$$

Si l'on admet de nouveaux signes, et si on réduit $+$ et $-$ au rôle de *signes d'opération*, on pourra écrire $A + B$, $A - B$; mais une expression telle que $+A$, ou $-A$, n'aurait plus aucun sens : $+$ ni $-$ n'ayant qu'une signification d'*opération*, et ne pouvant être qu'une sorte de *lien* entre deux termes A et B.

52. Corollaire. — Si on employait pour chacune des diverses variables x, y, xy, etc., une paire de signes tels que I et $-\!\bullet$, $\top$ et $\vdash$, Φ et $\ominus$, etc., on pourrait convenir, par exemple, que, si on juxtaposait $\mathrm{I}\, x$, et puis $\dashv y$, puis $\Phi\, xy$, la formule :

[31] $$\mathrm{I}\, x \dashv y\, \Phi\, xy,$$

serait représentative de l'addition et prescrirait d'ajouter les trois

Digitized by Google

nombres x, y, xy; d'où il résulterait, par exemple, que pour retrancher xy de la somme de x et de y, on écrirait :

$$\dagger\, x \dashv y \ominus xy.$$

Ainsi de suite.

53. Remarque. — Si on ne recourait pas à de nouveaux signes, on pourrait dire simplement *que, en général, l'addition est indiquée par la juxtaposition de deux quantités munies du même signe* (+ ou —) *et la soustraction, par la juxtaposition de deux quantités munies de signes contraires* (+ et —);

De même que la multiplication s'indique par la juxtaposition de quantités englobées avec leurs signes, et représentées, chacune, soit dans une seule lettre M, soit dans une parenthèse, comme ici (+ M).

54. Remarque incidente. — Si les divers signes $\dagger$, $\dashv$, Φ, etc., déterminent déjà les variables x, y, xy, on pourrait, toutes les fois que ces variables n'ont pas de valeurs déterminées, écrire simplement les signes sans lettre; et, ainsi, l'expression [31] deviendrait :

$$[32] \qquad \dagger \dashv \Phi,$$

et le produit de ces trois quantités x, y, xy, s'écrirait :

$$[33] \qquad (\dagger)(\dashv)(\Phi).$$

Nous n'examinerons pas ici si cette notation serait, *oui* ou *non*, acceptable, et si elle serait plus ou moins commode. Nous n'avons, ici, nulle prétention de proposer un changement; nous voulons simplement montrer que les signes antagonistes peuvent avoir une signification différente; selon qu'ils s'appliquent à telle variable x ou à telle autre variable y, ou xy, etc.

55. Autre corollaire. — Prenons pour signes antagonistes de x les symboles + et —, et prenons pour signes antagonistes de y les mêmes symboles + et —. Seulement, convenons, par exemple, que :

1° $+x-y$ = la somme des nombres x et y; et que de plus :

2° $+x^2-y^2$ = la somme des nombres x^2 et y^2.

Digitized by Google

Alors, l'équation de la bissectrice de l'angle $(+x)\,o\,(+y)$, (fig. 8), deviendra :

$$+x+y=o.$$

L'équation du cercle deviendra :

$$+x^2-y^2=r^2.$$

au contraire, l'hyperbole équilatère s'exprimera par :

$$+x^2+y^2=r^2.$$

On eût pu convenir simultanément que :

$+x+y=$ la somme des nombres x et y, et que :

$+x^2-y^2=$ la somme des nombre x^2 et y^2.

Ces conventions pourraient être variées indéfiniment, afin de montrer (sans intention aucune de proposer ici une modification de langage) que les symboles + et — ne constituent pas de caractéristiques nécessaires de l'addition et de la soustraction, et qu'ils ne sont, avant tout, que des signes indicateurs du sens de la quantité.

IX

Remarque sur les trois conceptions fondamentales de l'algèbre.

56. Remarque. — Il existe, en algèbre, trois conceptions distinctes :

La première, aussi ancienne que l'homme, est l'idée *arithmétique;* autrement dit, l'idée de *nombre*, encore privée de toute considération de sens et de mode. C'est déjà l'idée de la quantité variable.

La seconde, due au génie de Descartes, est l'idée d'une quantité existant selon deux sens différents, antagonistes; c'est, par suite, l'idée du nombre armé de deux signes antagonistes. D'où l'idée d'une quantité variable de $+\infty$ à $-\infty$.

Cette deuxième conception n'est que la généralisation de la première. Néanmoins, toutes deux sont distinctes, et c'est pour les avoir confondues que des géomètres éminents se sont égarés dans de sin-

Digitized by Google

gulières erreurs, jusqu'à s'écrier (en des ouvrages sur les méthodes) :

« *Nous ne saurions trop rappeler que nous n'avons attaché aucun*
« *sens aux opérations sur les quantités négatives.* . . . . . .
« *Il faut bien se garder de prendre le langage dans un autre sens, et*
« *de voir dans ce moyen commode de véritables opérations.* . . . . .
« *ni de chercher à donner existence à des êtres fantastiques*[1]. »

Et qui parle ainsi ?

Un des maîtres de la science ! lequel a mille fois plus d'autorité que nous.

Pourquoi n'avait-il point réfléchi que les deux sens de la quantité, et par conséquent les deux signes + et — sont *symétriques ;* en sorte que tout ce que l'on dit de l'un se peut dire de l'autre, et que si (comme le prétendait cet auteur) — a était une quantité *imaginaire*, un symbole dépourvu de signification réelle, il fallait dire même chose de + a.

Dès lors, plus de quantités réelles ! Tout devient imaginaire ; les mathématiques n'ont plus de certitude.

D'où procédait cette singulière erreur ? Évidemment de n'avoir point vu que l'on pouvait poser :

$$(+1) \times (+1) = -1,$$

aussi bien que :

$$(+1) \times (+1) = +1.$$

La distinction des quantités en positives et négatives est le fondement de la science moderne. Mais voici, en notre siècle, une :

57. Troisième conception, dont nous devons attendre des progrès plus merveilleux encore. C'est l'idée des quantités d'*essences différentes.*

$\sqrt{-1}$ est une de ces quantités, mais on s'habitue de plus en plus, à envisager encore d'autres quantités différentes, même, de $\sqrt{-1}$. Et voici comment. On considère dans les applications de l'analyse un nombre illimité de quantités concrètes de natures absolument distinctes, et, partant, irréductibles les unes avec les autres.

1. Voir la Note A à la fin du Mémoire.

Digitized by Google

Exemples. — Les nombres, les lignes, les surfaces, les volumes, les trois dimensions de l'étendue, les temps, les forces, les températures, les quantités de puissance vive, les sommes d'argent, etc.

Mais, le géomètre devant imiter la réalité des choses, ou s'inspirer de ce qu'il y aperçoit, se trouve, tout d'abord, induit à considérer, dans l'algèbre, des grandeurs abstraites, de natures distinctes, et irréductibles par addition et soustraction. Ces grandeurs pouvant, toutefois, être liées entre elles par une condition déterminée. Ainsi, par exemple, ± 1 et $\pm\sqrt{-1}$ sont liées par l'équation :

$$(\pm 1)^2 = -(\pm\sqrt{-1})^2.$$

Soient : $i_1 a_1$, $i_2 a_2$, $i_3 a_3$, etc.

Diverses grandeurs ayant pour valeurs numériques, respectives, a_1, a_2, a_3, et pour signes respectifs de nature $\pm i_1$, $\pm i_2$, $\pm i_3$, etc., la somme :

$$[34] \qquad a_1 i_1 + a_2 i_2 + a_3 i_3 + \ldots\ldots$$

ne peut se réduire en une seule quantité, et on l'emploie sous cette forme [34], d'où lui vient le nom de *quantité complexe*[1].

Telles sont, entre autres, les expressions de la forme :

$$[35] \qquad a_0 + a_1 i_1 + a_2 i_2 + a_3 i_3,$$

dans lesquelles a_0, a_1, a_2, a_3 sont des nombres, et i_1, i_2, i_3 sont trois unités d'essences différentes, irréductibles entre elles par voie d'addition ou soustraction *ordinaires*, bien qu'elles soient liées par certaines équations[2].

Ces *quaternions*, dont les savants anglais font aujourd'hui un emploi très-fréquent, se prêtent à la résolution d'une foule de questions de

1. Voir la *Théorie élémentaire des quantités complexes*, M. J. Houel, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

2. Si les trois unités : i_1, i_2, i_3, sont trois vecteurs rectangulaires entre eux, on aura les relations :

$$i_2 i_3 = -i_1; \quad i_3 i_1 = -i_2; \quad i_1 i_2 = -i_3;$$
$$i_3 i_2 = +i_1; \quad i_1 i_3 = +i_2; \quad i_2 i_1 = +i_3;$$
$$i_1^2 = i_2^2 = i_3^2 = -1.$$

Les trois essences de grandeur marquées respectivement par i_1, i_2, i_3, offrent cette particularité, que les signes de leurs produits deux à deux dépendent de l'ordre des facteurs : la définition de la multiplication étant, ici, *généralisée* [ce qui n'a pas lieu, d'ailleurs, en notre présent mémoire]. — Voir la *Théorie élémentaire des quantités complexes*, par M. J. Houel, IVe partie, chapitre VI.

Digitized by Google

géométrie analytique. Les trois unités i_1, i_2, i_3 pouvant représenter trois directions rectangulaires données.

D'où vient l'avantage de ces nouvelles conceptions? Précisément de ce qu'elles représentent plus exactement la *nature*, où chaque dimension de l'espace (de même que, en général, chaque ordre de quantité, chaque idée ou chaque être) est *sui generis*.

58. — Bien que l'usage de ces expressions complexes soit définitivement adopté, surtout lorsquelles consistent simplement dans le binôme $a+b\sqrt{-1}$, cependant la philosophie de ces quantités n'était point faite; voilà pourquoi nous nous sommes efforcé de contribuer, tant soit peu, à l'établir en démontrant la réalité des expressions $b\sqrt{-1}$ par des preuves simples et directes.

Nous aurions encore beaucoup à dire sur ces matières; mais, distrait par d'autres sujets, nous avons dû borner ici ce premier mémoire.

V

Historique.

59. — Racontons, pour terminer, l'historique de ces recherches : il a son intérêt.

Après être parvenu, il y a deux ans, à ces résultats, restait à s'enquérir si les faits que nous avons l'honneur d'exposer n'avaient pas été écrits ailleurs.

A nos questions, les quelques personnes que nous avons interrogées répondaient, pour la plupart : « les imaginaires ne sont rien, rien que « des signes, sans réalité et sans valeur; ce sont des symboles, et ce ne « sont point des quantités. »

D'autres, plus sages, avouaient n'y rien comprendre.

Un ou deux interlocuteurs, seulement, s'écriaient : « C'est quelque

Digitized by Google

« chose ! puisque cela s'introduit dans les calculs et conduit à des résul-
« tats exacts. »

Enfin, un des savants, qui dans l'arène de la science porte le plus haut le nom français, nous répondit : « *Mais oui! les quantités imaginaires* « *sont des quantités réelles : cela est connu! — Depuis peu? — Depuis* « *cinquante ans; depuis le commencement du siècle! Cela a été démontré* « *par Argand, Mourey*[1], *Cauchy, Transon, et quelques autres. — Mais* « *alors, comment nous a-t-on laissé faire toutes nos études, sans nous* « *parler d'un fait aussi considérable? Comment ce fait demeure-t-il* « *presque universellement inconnu? — C'est, répondit-il, qu'on ne* « *fait point d'études sérieuses.* »

« On n'apprend dans les différentes écoles, polytechnique et autres, « que les éléments, encore faut-il ajouter que les programmes d'études « ne sont que partiellement consacrés aux mathématiques, le reste est « abandonné aux langues, à la physique, etc., etc.

« Au sortir des bancs, il faudrait travailler encore ; et, par exemple, « pour devenir géomètre, il faudrait s'adonner *entièrement*, durant « de longues années, à l'étude approfondie des mathématiques. »

Un autre savant français, un physiologiste célèbre dans le monde entier, nous disait même chose il y a dix ans : « On ne travaille plus! « on n'honore plus, on n'aime plus la science. A peine a-t-on produit « quelques maigres écrits, que, trop souvent, on ne pense plus qu'à « l'intérêt ; on délaisse le culte de la science pour le culte de l'argent. « Cela n'a-t-il pas lieu chez tels peuples de l'Europe et de l'Amérique? « Il faut respecter la science, et savoir discerner, aider, honorer les « savants. »

Revenons à l'objet de ce mémoire.

Le géomètre éminent qui *seul* nous avait dit : *les quantités imaginaires sont des quantités réelles*, ajouta, avec la bienveillance extrême qui le caractérise :

« Il serait bien étonnant qu'étant parvenu à ce résultat de votre côté, « vous n'ayez point trouvé quelque chose de nouveau. Continuez donc « vos recherches. »

Le conseil était bon ; car, en fouillant les ouvrages, nous ne trouvâmes rien d'autre que la représentation géométrique, dont nous connaissions, depuis longtemps, les principes et les plus utiles applications;

1. Sans oublier Gauss, un peu après Argand et Français.

Digitized by Google

représentation, il est vrai, si complète qu'elle constitue une preuve de la réalité des quantités $a + b\sqrt{-1}$.

Mais cette preuve est insuffisante :

1° En tant qu'elle s'appuie exclusivement sur la géométrie, au lieu d'être fondée sur l'algèbre. On aura beau dire, l'idée d'espace est, en quelque sorte, contiguë à l'idée de matière. Aussi, les considérations géométriques sont-elles moins puissantes et moins *spiritualistes* que les considérations immatérielles fondées sur l'idée du *nombre :* envisagé quant à sa valeur, son sens et son essence.

2° Cette preuve est assez compliquée, au moins lorsqu'on veut approfondir le sujet.

3° La théorie constate, effectivement, sur une foule d'exemples, que les quantités $b\sqrt{-1}$ sont *exactement* représentées par les perpendiculaires à l'axe des x; mais elle ne révèle aucune cause de ce fait mystérieux. Elle ne constitue, par conséquent, qu'une vérification irréfutable, et nullement une démonstration philosophique.

60. — Aussi, le plus grand nombre, sinon la presque unanimité des savants, ont considéré la question comme non encore résolue (ou, comme insoluble). Cauchy, lui-même, est de ceux qui en prenaient leur parti ! A ses yeux, $\sqrt{-1}$ n'est « qu'*un outil, un instrument de « calcul souvent fort commode. On ne saurait dire ce que signifie ce « prétendu signe, ni quel sens on doit lui attribuer !* »

Qu'on ne s'étonne point de pareilles obscurités ! Il n'est si grand génie qui s'en trouve exempt ! Or, voici proprement les paroles du maître :

« L'emploi des expressions *imaginaires*, en permettant de remplacer « deux équations par une seule, offre, souvent, un moyen de simplifier « les calculs. *Tel est le motif pour lequel on doit continuer à se servir « de ces expressions qui, prises à la lettre, et interprétées d'après les « conventions généralement établies,* NE SIGNIFIENT RIEN ET N'ONT PAS DE « SENS. LE SIGNE $\sqrt{-1}$ N'EST, EN QUELQUE SORTE, QU'UN OUTIL, UN INS- « TRUMENT DE CALCUL, *souvent fort commode.* »

(*Exercices d'Analyse et de Physique mathématique* ; *Mémoire sur les fonctions des variables imaginaires*, tome III, p. 361.)

Dans son Mémoire sur la théorie des équivalences algébriques (*Ibid.*, tome IV, p. 87), Cauchy, faisant allusion au passage qui précède, ajoute :

Digitized by Google

« Selon ce que j'avais dit, il n'y avait plus nécessité de se mettre « l'esprit à la torture pour chercher à découvrir ce que pouvait être le « signe symbolique $\sqrt{-1}$, auquel les Allemands substituent la lettre *i*. « *Ce signe*, ou cette lettre, *était*, si je puis m'exprimer ainsi, UN OUTIL, « UN INSTRUMENT DE CALCUL *dont l'introduction dans les formules per-* « *mettait d'arriver plus rapidement à la solution très-réelle des ques-* « *tions* que l'on avait posées. Mais il est évident que les théories algé- « briques deviendraient beaucoup plus claires encore si on parvenait « à se débarasser complétement des expressions imaginaires, en ré- « duisant la lettre *i* à n'être plus qu'une quantité réelle. J'ai essayé de « résoudre ce singulier problème, et j'ai été assez heureux pour y « réussir. »

C'est ce qui nous est expliqué dans le cours du Mémoire :

« Dans la théorie des équivalences algébriques, substituée à la théorie « des imaginaires, la lettre *i* cessera de représenter *le signe symbo-* « *lique* $\sqrt{-1}$, *que nous répudions complétement, et que nous pouvons* « *abandonner sans regret, puisqu'*ON NE SAURAIT DIRE CE QUE SIGNIFIE CE « PRÉTENDU SIGNE, NI QUEL SENS ON DOIT LUI ATTRIBUER. Au contraire, nous « représenterons par la lettre *i* une quantité réelle mais indéter- « minée, » etc.

Oui, il faut réduire la lettre *i* à n'être plus qu'une quantité *réelle*. Cauchy pose ainsi *parfaitement* le problème général. Seulement, nous ne voyons nullement qu'il l'ait résolu. Son Mémoire sur les *équivalences algébriques*, Mémoire dont il a déduit les applications les plus intéressantes, ne nous paraît offrir qu'une méthode extrêmement ingénieuse de tourner la difficulté et d'esquiver l'emploi des quantités dites imaginaires durant les calculs de résolution des équations [1].

Au reste, Cauchy lui-même reconnaît préférable de recourir purement et simplement à l'interprétation géométrique du symbole $a+b\sqrt{-1}$.

Une autre fois (*ibid.*, t. IV, p. 157 et suiv., *Mémoire sur les quantités géométriques*) Cauchy résume l'histoire de la question :

« La théorie des imaginaires, dit-il, a été, à diverses époques, envi- « sagée sous divers points de vue. Dès l'année 1806, M. l'abbé Buée et

1. Si deux fonctions $\varphi(x)$, $\psi(x)$ divisées par une troisième fonction $\pi(x)$ donnent des restes égaux, on dira que ces deux fonctions sont équivalentes par rapport au diviseur $\pi(x)$. et on écrira :

$$\varphi(x) \equiv \psi(x) \ [\text{mod. } \pi(x)].$$

Nous espérons, dans un second travail, reparler de ce Mémoire de Cauchy.

Digitized by Google

« M. Argand, en partant de cette idée que $\sqrt{-1}$ est un signe de per-
« pendicularité, avaient donné des expressions imaginaires une inter-
« prétation géométrique contre laquelle des objections spécieuses ont
« été proposées. Plus tard, M. Argand et d'autres auteurs, particuliè-
« rement MM. Français, Faure, Mourey, Vallès, etc., ont publié des
« recherches qui avaient pour objet *de développer ou de modifier l'in-*
« *terprétation dont il s'agit*. Une grande partie des résultats de ces
« recherches avaient été, à ce qu'il paraît, obtenus avant le siècle pré-
« sent, et dès l'année 1786, par un savant modeste, M. Henri-Domi-
« nique Truel, qui, après les avoir consignés dans divers manuscrits,
« les a communiqués, vers l'année 1810, à M. Augustin Normand,
« constructeur de vaisseaux au Havre. Dans mon analyse algébrique,
« publiée en 1821, je m'étais contenté de faire voir qu'on peut rendre
« rigoureuse la théorie des expressions imaginaires en considérant ces
« expressions et ces équations comme symboliques; mais, après de
« nouvelles et mûres réflexions, le meilleur parti à prendre me *paraît*
« *être d'abandonner entièrement l'usage du signe* $\sqrt{-1}$, et de rem-
« placer la théorie des expressions imaginaires par la théorie des
« quantités, que j'appellerai *géométriques*, en mettant à profit les idées
« émises et les notations proposées, non-seulement par les auteurs
« déjà cités, mais aussi par M. de Saint-Venant, dans un Mémoire digne
« de remarque sur les quantités géométriques. »

Il serait juste de dire que la première tentative de représentation géométrique des quantités imaginaires est due au géomètre prussien *Heinrich Kühn*, né à Kœnisberg en 1690, et mort à Dantzig en 1769; et d'ajouter que *Gauss* avait adopté (mais postérieurement à Argand et à Français) les mêmes interprétations géométriques que Cauchy, et suivi exactement la même voie. Ces faits doivent exciter notre émulation!

M. Valson, professeur à la Faculté de Grenoble, et auteur d'une biographie trop peu connue, où se trouvent éloquemment retracés les travaux et les vertus d'Augustin Cauchy, a adopté, comme la quasi-unanimité des savants, l'opinion du maître. Il s'exprime ainsi :

« La théorie des quantités imaginaires est *la plus extraordinaire*, et,
« en même temps, la plus féconde de l'analyse. Ici, le savant n'opère
« plus *ni sur des nombres, ni sur des quantités géométriques, ni même*
« *sur des quantités algébriques de valeurs arbitraires, mais unique-*
« *ment sur des signes et de purs symboles. Les expressions imagi-*

Digitized by Google

« *naires, en effet, auxquelles on donne quelquefois improprement le* « *nom de quantités, ne sont autre chose que des symboles abstraits* « *n'ayant absolument aucun sens par eux-mêmes*, et cependant, en « les combinant suivant des lois déterminées, en les soumettant à une « sorte d'analyse mécanique, on déduit, pour les quantités réelles « elles-mêmes, des résultats d'une grande importance, qu'on cherche- « rait vainement à démontrer de toute autre manière.

« Si en littérature et en philosophie, ou dans toute autre partie des « connaissances humaines, on raisonnait ainsi sur des fictions, ou si « l'on essayait de tirer des conséquences de principes purement con- « ventionnels, il est certain que les résultats obtenus inspireraient peu « de confiance et qu'on ne s'arrêterait guère à des spéculations de cette « nature ; c'est pourtant ce que font constamment les géomètres dans « l'analyse des symboles imaginaires, et le succès de leurs recherches « a dépassé toute prévision. »

Telle est l'opinion générale : nous la répudions en algèbre aussi bien qu'en littérature, en philosophie et..... en *logique*.

Nous sommes au regret de n'emprunter au très-beau livre de M. Valson qu'un sujet, tout à fait accidentel, de réfutation, et, encore une fois, on nous permettra de dire que *la Vie et les travaux d'Augustin Cauchy* doivent être lus de toute personne ayant souci de la pensée et de la dignité humaines et sachant honorer le génie et le caractère.

61. — Les seuls écrits modernes où nous avons vu affirmer la réalité des quantités $a + b\sqrt{-1}$ sont les diverses *Notes* publiées par M. Transon, soit dans les bulletins de la *Société philomatique*, soit dans les *Nouvelles Annales de mathématiques*. Ces notes procèdent d'une philosophie très-sympathique par sa justesse et son élévation.

M. Transon a affirmé, et répété cent fois, que les quantités $b\sqrt{-1}$ étaient des quantités réelles. Pour ce dire, il invoque la représentation géométrique usuelle, et il démontre que *seule* elle exprime exactement les diverses propriétés des quantités $a + b\sqrt{-1}$ (*).

Un autre géomètre, M. Vallès, cité par M. Transon, a affirmé hardiment que $\sqrt{-1}$ n'était pas seulement un symbole représentable géométriquement, mais que c'était un état intermédiaire entre $+1$ et -1,

(*) Voir la Note C à la fin du Mémoire.

Digitized by Google

et qui existe en toute quantité géométrique ou non. — Bien dit! mais il faudrait une preuve catégorique.

M. Transon ajoute plus loin :

« Il n'y a, dans l'état actuel de la science, que les seules formes « imaginaires dont il serait à propos de dire, avec M. Vallès, qu'elles « impliquent une opération *inexécutable* sur les nombres, et cependant « réalisable sur certaines sortes de grandeurs. »

M. Vallès s'écrie, une autre fois, que $\sqrt{-1}$ n'est, pour les nombres et pour d'autres quantités, qu'un *indice d'interdiction*, impliquant une opération inexécutable, etc. [1].

Pour nous, au contraire, nous avons affirmé déjà que $\sqrt{-1}$ a une valeur numérique égale à l'unité, et que $\sqrt{-M^2}$ indique une opération aussi exécutable que $\sqrt{+M^2}$, et possède même valeur numérique, égale à M.

Nous pourrions multiplier encore les citations d'une opinion toute semblable, car nous avons effectué de longues et fastidieuses recherches pour découvrir si les résultats que nous avons eu l'honneur d'exposer étaient véritablement nouveaux. Quand même il n'en serait pas ainsi, nous penserions encore avoir fait œuvre utile, en appelant l'attention des ingénieurs et des géomètres sur ce point qui est encore généralement considéré comme un des plus grands mystères de la philosophie et des mathématiques.

Pour nous, le mystère est éclairci; reste à en creuser les infinies profondeurs et à tirer les conclusions pratiques.

1. Voir la note D à la fin du Mémoire.

Digitized by Google

APPENDICE

62. — Ce Mémoire était terminé, lorsque nous avons eu connaissance d'un livre intitulé : *Essai sur une manière de représenter les quantités imaginaires dans les constructions géométriques*, par R. Argand[1]; livre dont il sera intéressant de rapporter quelques passages.

« Toute ligne parallèle à la direction primitive est exprimée par un « nombre réel; celles qui lui sont perpendiculaires sont exprimées par « des nombres imaginaires ou de la forme $\pm a\sqrt{-1}$, et, enfin, celles « qui sont tracées dans une direction autre que les deux précédentes « appartiennent à la forme $\pm a \pm b\sqrt{-1}$, qui se composent d'une « partie réelle et d'une partie imaginaire.

« Mais *ces lignes sont des quantités tout aussi réelles que l'unité* « *primitive;* elles en dérivent par la combinaison de l'idée de la direc- « tion avec l'idée de la grandeur, et elles sont, à cet égard, ce qu'est la « ligne négative, qui n'est nullement regardée comme imaginaire. Les « noms de *réel* et d'*imaginaire* ne s'accordent donc pas avec les notions « qui viennent d'être exposées. Il est superflu d'observer que ceux « d'*impossible* et d'*absurde*, qu'on rencontre quelquefois, y sont encore « plus contraires. On peut, d'ailleurs, s'étonner de voir ces termes

1. Paris. — Gauthier-Villars, 1874, 2e édition; publiée (avec Préface) par M. J. Houël, et suivie d'extraits de Gergonne, Français, etc. On peut consulter aussi un petit livre, quelque peu singulier, en sa forme, mais plein d'intérêt, quant au fond. C'est « *La vraie Théorie des « quantités négatives et des quantités prétendues imaginaires, dédiée aux amis de l'évi- « dence* (sic), par *C. V. Mourey.* »

L'ouvrage a été publié, je crois, à Paris en 1821; puis réédité, il y a peu d'années, chez MM. *Gauthier-Villars*. En cet opuscule, au milieu d'explications peu simples et de notations bizarres, on trouve la théorie *très-complète* des *quantités géométriques* réinventée longtemps après par Cauchy.

Digitized by Google

« employés dans les sciences exactes, autrement que pour qualifier ce « qui est contraire à la vérité. . . . . .

« Les résultats obtenus par l'emploi des quantités dites *imaginaires* « sont, en tout, conformes à ceux qu'on déduit des raisonnements dans « lesquels on ne fait usage que de quantités réelles. »

63. — A ces citations nous ajouterons quelques passages d'un Mémoire publié par V.-F. *François* dans les Annales de mathématiques de *Gergonne*, tomes IV-V, 1813 à 1815, sous le titre de *Nouveaux principes de géométrie de position, et interprétation géométrique des symboles imaginaires*[1]

Théorème premier. — *Les quantités imaginaires, de la forme* $\pm a\sqrt{-1}$ *représentent, en géométrie de position, des perpendiculaires à l'axe des abscisses; et, réciproquement, les perpendiculaires à l'axe des abscisses sont des imaginaires de la même forme.* . . . . . .

Corollaire 3. — *Les quantités dites* imaginaires *sont donc tout aussi réelles que les quantités positives et les quantités négatives, et n'en diffèrent que par leur position, qui est perpendiculaire à celle de ces dernières.* . . . . . .

Théorème 4. — *Toutes les racines d'une équation de degré quelconque sont réelles, et peuvent être représentées par des droites données de grandeur et de position.*

Comme nous l'avions annoncé, la réalité de $b\sqrt{-1}$ se trouve affirmée partout au nom des mille *vérifications de l'interprétation géométrique*,

1. Ces citations sont empruntées au même ouvrage sus-nommé, *Essai de représentation*, etc., de *R. Argand*, édité par M. Houel.

Digitized by Google

et nulle part au nom de l'algèbre. Cependant un savant français, M. *de Maizière*, s'est fort approché du but en 1811. Après avoir disposé, dans une table à double entrée, tous les nombres entiers n et $n\sqrt{-1}$, il conclut par une induction hardie (en examinant ce tableau), à la réalité de toutes les imaginaires $\sqrt[2n]{-1}$.

FIN.

Digitized by Google

NOTES

NOTE A (Voir n° 56). — Cet auteur n'est pas seul à parler de la sorte : Carnot, dans sa *Géométrie de position* conclut, après une dissertation assez longue, que 1° *Toute quantité négative isolée est un être de raison; et celles que l'on rencontre dans le calcul ne sont que de* SIMPLES FORMES ALGÉBRIQUES INCAPABLES DE REPRÉSENTER AUCUNE QUANTITÉ RÉELLE OU EFFECTIVE.

2° *Chacune de ces formes algébriques étant prise abstraction faite de son signe, n'est autre chose que la différence entre deux quantités absolues dont celle qui était la plus grande, dans le cas où l'on a établi le raisonnement, se trouve la plus petite dans le cas où l'on veut appliquer les résultats du calcul.*

Dans ce 1°, Carnot produit l'allégation monstrueuse que nous nous efforçons de combattre.

Le 2° semble prouver que Carnot, tout grand géomètre qu'il fût, ne se serait pas véritablement assimilé la notion Cartésienne, des deux sens de la quantité.

D'Alembert ne s'exprime guère d'une façon plus satisfaisante.

« Les quantités négatives indiquent réellement, dans le calcul, des quan-« tités positives, mais qu'on a supposées dans une fausse position. Le signe « —, que l'on trouve avant une quantité, sert à redresser et à corriger une « erreur qu'on a faite dans l'hypothèse. IL N'Y A DONC POINT RÉELLEMENT ET « ABSOLUMENT DE QUANTITÉ NÉGATIVE ISOLÉE. »

Leibnitz lui-même, ce prince de la science, a écrit : « Les raisons (rap-« ports) ou proportions n'ont point sujet d'être, en ce qui concerne les « quantités moindres que rien. » — « Quòd rationes sive proportiones non « habeant locum circa quantitates nihilo minores, etc. »

C'était à propos d'un exemple reproduit précisément par d'Alembert et par Carnot, et qui avait exercé la sagacité des mathématiciens. Il s'agissait de l'équation :

[35] $$\frac{+1}{-1} = \frac{-1}{+1}.$$

Leibnitz insiste et il répète :

« J'ai dit qu'il me semblait que ces raisons (rapports), dans lesquels l'an-« técédent ou le conséquent est moindre que rien, ne sont point réelles, mais « que toutefois on peut utilement, et, en toute sûreté, les introduire dans « les calculs tout comme d'autres IMAGINAIRES. — Dixi mihi videri veras « illas rationes non esse, in quibus quantitas nihilo minor est antecedens, « vel consequens; etsi in calculo hæc, ut alia IMAGINARIA, tutò, et utiliter « adhibeantur. »

« Si $-1 < 0$, $\frac{+1}{-1}$ sera le rapport d'un nombre plus grand à un nombre « plus petit.

Digitized by Google

« Mais, au contraire, $\frac{-1}{+1}$ sera le rapport d'un nombre plus petit à un « nombre plus grand. Comment donc, ce rapport sera-t-il le même des « deux côtés ? »

« Si $-1 < 0$, $\frac{+1}{-1}$ erit ratio majoris ad minus.

« Sed contra, $\frac{-1}{+1}$ erit ratio minoris ad majus.

« Quomodo ergo utrobique eadem ratio erit, etc. ? »

« Je prouverai encore que ces rapports sont *imaginaires* à l'aide d'un « autre argument irréfutable, savoir : les logarithmes. Le logarithme de « — 1 n'étant ni *positif* ni *négatif*, il faut qu'il soit *non réel et imaginaire.* »

« Sed et rationes istas esse IMAGINARIAS etiam alio certissimo argumento « comprobabo, scilicet a logarithmis.

« Logarithmus ipsius — 1, quum nec positivus nec negativus sit, super- « est ut sit non verus, sed IMAGINARIUS. — Neque et ratio cui respondet « NON VERA sed IMAGINARIA ERIT. »

Que la raison humaine est faible, puisque les plus grands génies énoncent presque des absurdités en matière de géométrie ou d'algèbre ! C'est bien autre chose sur les terrains glissants de la science philosophique ! — Combien est-il dangereux d'aborder la lecture des maîtres avant que de s'être préparé par de saines et fortes études !

Faut-il d'ailleurs s'étonner des fautes que nous avons signalées ? — Non. « L'homme, dit Gergonne, n'aperçoit d'abord toutes les théories que par « une sorte d'instinct, bien longtemps avant d'être en état de les démontrer « en rigueur..... Il en a été ainsi à l'égard des quantités négatives isolées ; « il en sera toujours ainsi de toutes les questions. A-t-on donc oublié « que ce n'est qu'après plus d'un siècle de méditations et d'essais infruc- « tueux qu'on est enfin parvenu à asseoir le calcul dit *infinitésimal* sur « des bases solides ? Et encore, trouve-t-on aujourd'hui des gens qui « prétendent qu'on n'y a pas complétement réussi. Où en serions-nous, « pourtant, si l'on avait exigé des premiers inventeurs de ce calcul qu'ils « démontrassent rigoureusement leur méthode avant d'en faire des appli- « cations [1]. »

— Reprenons l'exemple ci-dessus indiqué :

$$[35] \qquad \frac{+1}{-1} = \frac{-1}{+1}.$$

Cette équation s'obtient, par exemple, en divisant la première des équations [1] par la dernière ; ou, plus généralement, la première des équations [8] par la dernière.

Donc (c'est là une conséquence des théories exposées dans le présent mémoire) : l'équation [35] est indépendante de toute convention de signes.

1. Gergonne (*Annales*), citation tirée de l'ouvrage susnommé de M. Hoüel.

Digitized by Google

D'ailleurs, cette équation résulte évidemment de la symétrie des signes + et — et constitue, précisément, une expression de cette symétrie.

Leibnitz s'est donc trompé en disant que le rapport $\frac{+1}{-1}$, ou, $\frac{-1}{+1}$ est *imaginaire*, dans le sens propre de ce mot; mais, si au lieu d'imaginaire, il avait dit hétérologue, ou, s'il avait usé d'un autre terme indiquant une *diversité d'essence*, il eût été dans le vrai.

Quant à dire : $-1 < 0$, ou, $-1 <$ *que le néant* : cela ne signifie *rien*, du moment que l'on envisage avec Descartes des quantités étendues en deux sens antagonistes. Le mot *plus petit* serait, dans la langue usuelle, synonyme de *retranchable* (si le mot était français !!).

Suivant les usages de l'analyse, le signe < désigne, par exemple, une ligne dont l'extrémité est plus à gauche que l'extrémité de telle autre, ou, plus au-dessous et ainsi de suite. En sorte, que le mot *plus petit* perd sa signification *propre et habituelle*.

En définitive, nous tenons pour remarquable que l'équation :

[35] $$\frac{+1}{-1} = \frac{-}{+1}.$$

Ait lieu en dehors de *toute convention* de signe

Si l'on fait la convention I, on trouve :

$$\frac{+1}{-1} = \frac{-1}{+1} = -1.$$

Si l'on fait la conventoin II, on trouve :

$$\frac{+1}{-1} = \frac{-1}{+1} = +1.$$

Encore une fois, l'équation [35] vérifie que les signes + et — sont symétriques; autrement dit, qu'il y a parité mathématique entre eux. Et, en effet, si l'on représentait + 1 et — 1 par deux lignes opposées bout à bout, la figure serait symétrique. Et en la regardant de l'autre côté du plan, ou en la retournant, elle demeurerait identique à elle-même. C'est là ce que vérifie précisément l'équation [35] et les équations [1] et [8].

Note B (Voir n° 46). — En général, lorsque l'on écrit une équation A = B, cela peut avoir deux significations : 1° les quantités A et B sont identiques; 2° elles diffèrent d'une autre quantité infiniment petite par rapport à elles-mêmes.

C'est un point qui se trouve encore confirmé par Leibnitz. On avait prétendu que : « Les quantités ne sont égales que lorsque leur différence est « nulle ou égale à *rien*. — Solæ hæ quantitates æquales sunt, quarum differentia nulla est, seu nihilo æqualis. »

Leibnitz répond :

« Je ne considère pas seulement comme égales les quantités dont la

Digitized by Google

« différence est absolument nulle, mais encore celles dont la différence est « incomparablement petite sans pouvoir, néanmoins, être réputée comme « nulle.

« Cæterùm æqualia esse puto non tantum quorum differentia est omninò « nulla, sed et quorum differentia est incomparabiliter parva et licet ea « *nihil* omninò dici non debeat. »

NOTE C (Voir n° 61). — M. Transon a dit quelque part, dans les *nouvelles annales de mathématiques*, que $\sqrt{-1}$ était une *qualité de la quantité*. Il nous sera permis d'émettre ici un avis différent, et de répéter, encore une fois, que $\sqrt{-1}$ ne caractérise pas seulement une *qualité de la quantité*, mais une *essence de la quantité*. — Si deux objets considérés dans une même espèce H comprennent : l'un, A, unités d'une certaine quantité; l'autre, B, unités d'une autre quantité; et si l'on réunit ces deux objets ensemble, on aura $A + B$, unités de l'espèce H; unités de qualités variées, sans doute, mais, enfin, de même essence. — 20 livres de pain de première qualité réunies à 20 livres de pain de seconde qualité, font 40 livres de pain de qualité inégale, tandis que a, et $b\sqrt{-1}$, ne sont pas susceptibles d'être combinés par l'addition ordinaire. Immédiatement, on n'aperçoit pas la valeur numérique de l'expression : $a + b\sqrt{-1}$. Ce n'est qu'en regardant ce binôme comme la représentation d'une *ligne dirigée* qu'on lui découvre une valeur numérique, laquelle consiste dans la module $\sqrt{a^2+b^2}$, et n'est nullement égale à la somme $a + b$, comme il devrait arriver si $\sqrt{-1}$ n'était qu'un indice de *qualité*.

Néanmoins (il faut se hâter de le dire), en présence de l'étrange opinion qui régnait et qui fut partagée même par Cauchy, il y avait mérite à affirmer que $\sqrt{-1}$ n'était pas un vain *symbole*, un *outil*, un *instrument de calcul* dépourvu *de toute existence*, mais que c'était la caractéristique d'une unité nouvelle. D'ailleurs, M. Transon était arrivé aux trois quarts de la vérité en ajoutant : $\sqrt{-1}$ est aussi *réelle* que les quantités ordinaires.

NOTE D (voir n° 61). — (Cf : *des formes imaginaires en Algèbre, par M. Vallès, inspecteur général des ponts et chaussées*, 1869-73). — Il y a là telles et telles opinions auxquelles nous ne saurions souscrire. Mais sur quelques points, nous avons eu l'honneur de nous rencontrer d'accord avec ce savant géomètre, qui réfute plusieurs erreurs ayant cours sur la matière, et s'approche, parfois, très-près de la vérité. — Telle est, *sous réserves*, notre appréciation première, à la suite d'un examen *récent* et *rapide*. Or cette œuvre de M. Vallès est digne de tout respect.

Digitized by Google

NOTE

SUR LES

TRAITEMENTS DES MINERAIS

A BASE D'OXYDE DE NICKEL

A L'USINE DE SEPTÈMES

PAR M. JULES GARNIER.

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

La découverte, en Nouvelle-Calédonie, du minerai à base d'oxyde de nickel est déjà ancienne; dès les premières excursions que nous fîmes en cette île, en 1863, nous fûmes frappé par l'aspect de ces roches d'un vert spécial que nous rencontrions souvent en enduits, rognons ou filets, au sein des éruptions serpentineuses de l'île.

Nous ne manquâmes pas, en 1867, de signaler ce minerai dans nos écrits spéciaux sur la géologie de la Nouvelle-Calédonie; et nos collections, exposées au Palais de l'Industrie, après avoir figuré à l'Exposition universelle de 1867, contenaient déjà un grand nombre d'échantillons de cette matière. — Toutefois, dans ces derniers temps, grâce au prix élevé qu'avait atteint le nickel, grâce encore à la découverte de gîtes importants que des mineurs firent à la Nouvelle-Calédonie, on s'occupa, dans notre colonie, de l'extraction de ce nouveau minerai; — mais, comme les systèmes jusqu'ici en vigueur pour produire le nickel ne peuvent s'appliquer en entier et avantageusement au nouveau minerai, nous cherchâmes des méthodes qui pussent permettre le traitement le plus pratique possible, et ce sont ces recherches et ces études que nous allons avoir l'honneur d'exposer brièvement à la société.

Les minerais de la Nouvelle-Calédonie sont un hydrosilicate de nickel et de magnésie; ils se présentent soit en fragments plus ou moins volumineux, soit en poussière; celle-ci n'est que le résultat du bris des fragments, qui sont assez fragiles.

Digitized by Google

On peut diviser comme il suit les fragments :

1° Du minerai pur assez compacte ;

2° Du minerai pur servant d'enveloppe ou d'enduit à des noyaux isolés ou à des poudingues composés de débris de roches serpentineuses.

3° Du minerai colorant simplement des argiles magnésiennes plus ou moins ferrugineuses ;

4° Du minerai emplissant les cavernes d'une meulière associée aux serpentines ;

5° Du minerai en feuillets minces alternant avec des feuillets de silice pure.

En dehors du fer qui accompagne le nickel, on rencontre fréquemment du chrome provenant de petits cristaux de fer chromé ; du manganèse et du cobalt, qui, sous la forme du cobalt oxydé noir, se montrent en petites taches ou en veinules au sein du minerai. Comme les roches constitutives du minerai sont intimement associées et ont une densité très-voisine de celle de l'oxyde de nickel, il en résulte qu'une séparation mécanique sérieuse du minerai pur de ses gangues est impossible. Ce que l'on peut faire est un criblage préalable, soit au moyen de tables ou cribles à secousses, soit autrement, de façon à séparer les matières en menus et en gros.

Les menus, suivant le cas, sont encore broyés ou bien agglomérés avant de passer, comme on le verra, dans les fours de réduction et de fusion.

Quant aux fragments plus gros, on les trie de façon à en faire diverses catégories, suivant leur richesse en nickel, le produit à obtenir et le système du traitement que l'on voudra suivre.

Certains fragments sont suffisamment compactes et de la grosseur voulue pour être traités de suite ; les autres sont d'abord broyés et agglomérés.

Nous observerons ici que les minerais à base d'oxyde de nickel doivent certainement se rencontrer en dehors de la Nouvelle-Calédonie ; le peu d'éclat, de densité que présentent généralement ces minerais quand ils n'ont pas une richesse exceptionnelle, a pu les dérober jusqu'ici à l'industrie. Nous ne doutons point qu'ils n'aient accompagné, dans d'autres pays, les éruptions magnésiennes, les serpentines, les diorites, les euphotides, etc..., si semblables à celles de la Nouvelle-

Digitized by Google

Calédonie, et nous pensons que la découverte de nouveaux gisements de nickel oxydé permettront bientôt la généralisation de notre système de métallurgie, tout en répandant un des métaux qui, par ses propriétés si utiles, se range de lui-même aux premiers rangs.

Voici deux analyses du minerai qui nous occupe :

Eau.	14.50			10.00	
Silice.	57.50			50.00	
Peroxyde de fer. . . .	2.50			3.50	
Protoxyde de nickel. .	8.50	Nickel.	6.6	18.50	Nickel. 14.615
Magnésie et chaux. .	17.28			18.40	
	100.28			100.40	

La première, qui contient 6.6 de nickel métallique, provient d'un minerai pauvre ; la seconde, qui a 14.615 de nickel, est d'un minerai supérieur. On remarque de suite, d'après ces analyses, que le fer est l'impureté la plus difficile à dégager du nickel, puisque ce métal, si rapproché du nickel par ses propriétés, tendra à le suivre dans les diverses opérations auxquelles on soumettra la matière; aussi, avons-nous concentré nos efforts sur la recherche du mode économique de séparation du fer du nickel, et nous avons successivement essayé :

1° De séparer le fer en attaquant directement le minerai par les acides ;

2° De séparer le fer par réduction, sans fusion, de l'oxyde de nickel contenu dans le minerai, pendant que le fer reste oxydé ;

3° De séparer le fer en fondant directement le minerai pour fonte ou pour matte, pendant l'opération même de la fusion ;

4° De séparer le fer après l'avoir concentré dans une fonte ou une matte.

Nous allons rapidement passer en revue les résultats que nous ont fournis ces divers systèmes :

1° *Enlèvement du fer par voie humide.* — Procédant d'abord par voie humide, nous avons employé les acides chlorhydrique et sulfurique, les seuls, d'ailleurs, qu'on puisse utiliser économiquement ; cette tentative nous a montré que les acides dissolvaient toujours en même temps le fer et le nickel et que, dans la partie du minerai qui était dissoute, aussi bien que dans l'autre partie, on retrouvait, jusqu'à la fin, du nickel et du fer.

Les acides organiques (oxalique, tartrique, acétique) se sont com-

Digitized by Google

portés de la même façon ; sans compter que leur emploi industriel nous paraît difficile.

Mais, observant que ce minerai de nickel présente des degrés d'hydratation qui varient depuis 5 jusqu'à 25 p. 100, et que l'attaque aux acides est d'autant plus faible qu'il y a plus d'eau, nous l'avons soumis à des calcinations diverses destinées à ramener les oxydes de nickel et de fer à un certain état d'hydratation où le fer pourrait se dissoudre seul dans les acides ; notre insuccès a été le même.

D'ailleurs l'essai chimique aussi bien que l'examen de la constitution physique de ce minerai, démontrent que si le nickel s'y trouve toujours à un état identique de combinaison avec l'oxygène; le fer, au contraire, se présente soit à l'état de péroxyde hydraté, soit à l'état de protoxyde combiné à la silice et faisant partie intégrante des gangues qui sont surtout des serpentines, des diorites, des euphotides à diallage bronzite, etc.

A la suite de ces expériences nous avons donc renoncé à essayer d'enlever à priori le fer par voie humide ; bien plus, nous avons constaté que si les minerais ont une faible teneur en nickel, l'attaque aux acides devient de plus en plus lente et difficile.

2° *Enlèvement du fer à la suite d'une cémentation du minerai.* — Si l'on soumet le minerai à une cémentation, sans fusion, on réduit à la fois les oxydes de nickel et de fer ; bien plus le nickel réduit, divisé dans la masse y est à peu près inattaquable aux acides, pendant que le fer et le silicate, au contraire, sont plus ou moins dissous. C'est donc encore là un système impraticable.

3° *Enlèvement du fer pendant la fusion même du minerai de nickel.* — Pendant l'opération même de fusion des minerais de nickel, nous avons, au contraire, reconnu la possibilité d'enlever la plus grande partie du fer du minerai par sa scorification, mais comme nous employons deux systèmes bien distincts de fusion réductrice des minerais à base d'oxyde de nickel, nous allons passer en revue ces deux systèmes, en montrant comment ils permettent l'un et l'autre l'élimination du fer pendant la fusion réductrice du minerai.

Nous avons dit que les minerais de la Nouvelle-Calédonie n'ont pas de soufre ; ce fait nous a d'abord suggéré l'idée de transformer tout le nickel et le fer du minerai en une fonte ou carbure de nickel et de fer.

Digitized by Google

Le second système de fusion et de réduction que nous avons également rendu pratique, consiste à fondre le minerai avec des substances sulfureuses ou sulfo-arsénieuses et à ramener ainsi le nouveau minerai à un produit artificiel semblable aux minerais de nickel que la nature a offerts jusqu'à présent à l'industrie.

Nous allons considérer successivement ces deux procédés qui ont tous deux une égale importance, en ce sens surtout qu'ils se complètent dans la pratique.

1° *Fusion du minerai pour fonte de nickel.*

Dans notre système de fusion pour fonte de ferro-nickel, deux cas bien distincts se présentent, suivant que le minerai est pauvre en nickel et fer, ou riche en nickel et pauvre en fer.

Le premier cas est le plus général; dans cette circonstance, afin de diminuer la proportion de laitier par rapport à la fonte, nous ajoutons des oxydes de fer, ce qui nous permet de traiter des minerais d'une composition analogue à celle qu'indique l'analyse suivante que fournissent certaines extractions minières de la Nouvelle-Calédonie.

Eau.	21.25		
Silice.	41.75		
Oxyde de nickel.	3.50	Nickel. . . .	2.75
Protoxyde de fer.	5.18	Fer.	4.03
Magnésie.	26.65		6.78
Chaux.	2.20		
	100.53		

Il est clair qu'une aussi faible proportion de nickel et de fer contenu dans ce minerai, n'en permettrait pas la fusion, sans qu'il y eût des pertes considérables soit en grenailles, soit à l'état de combinaison dans le laitier, tandis qu'une légère addition de minerais oxydés de la famille du fer, qui élèverait le rendement total du lit de fusion à 15 p. 100 de fonte, donnerait une allure de fusion normale et régulière, tout en permettant de tirer de ce minerai très-pauvre et par une première opération une fonte riche en nickel.

Le deuxième cas que nous considérons dans la fabrication des fontes de nickel est celui où il s'agit de minerais riches en nickel et pauvres en fer, ceux qui proviennent de la première catégorie des triages et fournissent l'analyse suivante que nous avons déjà donnée.

Digitized by Google

Eau.	10.00		
Gangues insolubles et silice. . .	50.00		
Peroxyde de fer.	3.50	Fer.	2.45
Protoxyde de nickel.	18.50	Nickel. . . .	14.615
Chaux.	2.65		
Magnésie.	15.75		
	100.40		

Dans ces minerais la proportion du fer au nikel est de 17 p. 100 environ ; de plus, la richesse en nickel et en fer est suffisante pour qu'on puisse non-seulement ne pas ajouter de fer mais encore enlever la majeure partie de celui qui s'y trouve ; et voici comment d'après nos expériences, nous sommes arrivé à ce résultat qui nous permet par une fusion unique d'enlever presque à volonté telle ou telle proportion du fer contenu et d'avoir un carbure de nickel que l'on peut directement employer pour la fabrication des alliages ordinaires avec le cuivre et autres métaux. Pour arriver à ce but il suffit d'opérer la réduction du minerai de nickel dans des fourneaux dont la cuve ne soit pas trop haute, où l'élévation de la température ne soit pas non plus considérable ; de cette façon l'oxyde de fer n'a pas le temps de se réduire en entier dans la cuve, d'autant plus que la température dans laquelle on opère est à peine suffisante pour obtenir cette réduction ; mais il faut avoir des laitiers très-fusibles, ce qui est facilité par la présence même du fer ; de plus le creuset doit avoir une capacité réduite, il doit être disposé de façon que la fonte y soit toujours maintenue à une très-haute température.

Nous avons expérimenté que par un bon dosage des lits de fusion, une allure bien ordonnée, on peut produire le carbure de nickel et de fer dans les divers fours à cuve, désignés dans l'industrie sous le nom de hauts fourneaux, fours à manche, cubilots, etc..., pourvu qu'ils aient une hauteur d'environ quatre mètres et l'on peut agir sous une faible pression de vent et à l'air froid ; nous avions craint au contraire dans le principe d'être obligés d'atteindre des températures inusitées et par suite des allures coûteuses et peu économiques ; mais la pratique nous a fait bientôt reconnaître que les fontes ou carbures de nickel et de fer sont plus fusibles que le carbure de chacun de ces métaux pris séparément. Nous avons obtenu successivement avec un minerai contenant autant de fer que de nickel, des fontes donnant les analyses suivantes :

Digitized by Google

Fer.	46.35	41.30	38.70	34	27
Nickel.. . . .	50.91	54.25	59.00	63	68
Carbone.. . .	3.04	4.45	2.30	3	05

Une analyse complète nous a fourni :

Nickel.	60.90
Fer.	33.35
Silicium.	0.85
Carbone.	3.90
	99.00

Ces analyses montrent que, par notre procédé, si l'on fait varier judicieusement les conditions de la fusion, on arrive à faire passer dans les laitiers les trois quarts du fer contenu dans le minerai, et cela aussi aisément qu'on l'a fait jusqu'ici dans le traitement pour mattes des minerais de nickel sulfurés et ferreux. Quant aux fontes ainsi produites, grâce à l'absence du soufre et de l'arsenic, elles sont déjà d'une grande malléabilité, elles s'aplatissent aisément, et leur cassure est à grains fins ou feuilletée ; on les lime et polit aisément.

En résumé, nous obtenons, par ce premier système, des minerais de Calédonie, trois produits nouveaux, industriellement parlant, qui sont :

1° Une fonte de nickel à peu près exempte de fer, provenant des minerais riches et purs ;

2° Une fonte très-riche en nickel, mais ferreuse, provenant de minerais ferreux dont la première fusion a éliminé une partie du fer, comme il a été dit ;

3° Une fonte de nickel très-ferreuse.

La première fonte peut s'employer de suite pour alliages.

Les deux autres seront affinées.

2° *Fusion des minerais à base d'oxyde de nickel pour mattes.*

Dans certaines conditions économiques d'usine, et pour des minerais pauvres et ferrugineux, il est avantageux de ramener lesdits minerais à une composition chimique analogue à celle des minerais sulfurés actuellement exploités.

Il suffit pour cela de fondre lesdits minerais à base d'oxyde de nickel avec des matières sulfureuses, pyrites, sulfates de chaux, sulfures de calcium, etc.

Digitized by Google

Nous obtenons ainsi, avec nos minerais oxydés de nickel, des mattes très-riches en nickel, présentant à peu près l'analyse suivante :

Nickel.	50 à 60
Fer.	25 à 15
Soufre.	25 à 25
	100

Pour la première fusion avec des matières sulfureuses, nous pouvons même arriver à l'analyse suivante, qui nous paraît remarquable.

Nickel.	70
Fer.	15
Soufre.	15
	100

AFFINAGE DES FONTES ET DES MATTES CI-DESSUS.

Nous venons de décrire rapidement par quels moyens nous arrivons à tirer, suivant le cas, du minerai calédonien, et par une première fusion réductrice, soit des carbures de nickel et de fer, soit des sulfures de nickel et de fer.

Il nous reste à parler de la transformation de ces deux produits en métaux utilisables.

Nous observerons tout d'abord qu'il n'y a pas lieu de décrire ici les opérations qui nous permettent d'extraire par voie humide ou par voie sèche le nickel des sulfures artificiels, que nous formons comme il a été dit; ce serait reproduire la métallurgie assez connue des minerais sulfurés de nickel, métallurgie à laquelle nous n'avons d'ailleurs apporté aucun perfectionnement, si nous en jugeons d'après les documents que nous nous en sommes procurés. Il en est de même en ce qui concerne la reprise par voie humide des fontes ou carbures de fer et nickel, qui n'offre d'autre difficulté importante que celle de la pulvérisation de ladite fonte avant l'attaque aux acides, difficulté que nous avons heureusement vaincue.

AFFINAGE DE LA FONTE DE FERRO-NICKEL POUR ALLIAGE DE NICKEL ET CUIVRE.

On sait que l'industrie emploie surtout le nickel en alliage avec du cuivre; aussi, les fabricants des divers *maillechorts* désirent-ils avoir

Digitized by Google

leur matière déjà alliée à une petite proportion de cuivre; à cet état, ils ont moins de peine à la mettre en fusion.

Pour obtenir cet alliage commercial de nickel et de cuivre, nous chargeons sur la sole d'un four à réverbère le carbure de nickel et de fer, ainsi que le cuivre; ces matières ne tardent pas à entrer en fusion; le bain présente bientôt une réaction très-vive; des jets d'oxyde de carbone se dégagent de toutes parts de la matière fondue; c'est le carbone qui opère son départ, en même temps que le silicium.

Le fer s'oxyde ensuite; on active l'opération, comme on a fait dans le cas des alliages tirés des mattes, par des additions d'oxyde de cuivre et de manganèse, ou autres corps oxydants; on écume pour enlever les scories qui se forment, et l'on prend des prises d'essai, qui permettent de suivre pas à pas l'opération et d'apprendre le moment exact où il ne reste plus qu'un alliage de nickel et de cuivre dans la proportion voulue; on peut alors opérer la coulée.

Si au lieu d'alliages de nickel et de cuivre on veut du nickel métallique, on opère de même par oxydation du fer; soit que la matière reste à l'état pâteux, soit qu'on arrive à la fusion. — On active l'oxydation du fer par l'addition de matières oxydantes, ou par l'action énergique de l'air; l'oxyde de fer formé est enlevé à son tour par l'addition de matières silicieuses; on suit l'opération par des prises d'essai successives, et on l'arrête au moment voulu.

Nous ajouterons en terminant, que nos recherches se portent encore, depuis longtemps, sur la création pratique d'alliages de nickel et de fer. Ce n'est pas la première fois que l'on s'occupe de la question, et les résultats contradictoires obtenus en tous temps par les chimistes ou les métallurgistes les plus habiles, indiquent bien l'intervention dans la question d'une série d'éléments dont les influences n'ont pas encore été déterminées, et que nous espérons arriver à découvrir; ainsi, Bergman alliait le fer au nickel en toute proportion, et obtenait un alliage doux et tenace. Stodart et Faraday fondirent des alliages de nickel et de fer, et à la proportion de 90 pour 100 de fer et de 10 pour 100 de nickel, ils eurent tantôt un produit oxydable, tantôt un produit inoxydable.

Enfin, un de nos savants renommés, M. Boussingault, vient de répéter ces expériences: il a allié du nickel et de l'acier en diverses proportions, et il a fallu arriver à la dose de 30 pour 100 de nickel pour que le produit fût inoxydable; mais alors le métal n'avait plus ni les propriétés ni les caractères de l'acier.

Digitized by Google

Pour le moment, nous n'ajouterons qu'un mot : c'est que le nickel est un des métaux les plus impressionnables qui existent, et que des doses infinitésimales de certaines substances suffisent pour changer ses qualités.

C'est la connaissance de ces corps et de leurs effets, enfin, le moyen de les ajouter au nickel ou de les lui retirer, qui font l'objet de nos recherches actuelles, et qui nous font espérer la réalisation d'un alliage industriel de fer et de nickel, qui serait recherché à cause de son inoxydabilité, de sa résistance et de sa malléabilité.

Digitized by Google

ÉTUDE

SUR LES

CONSTRUCTIONS JAPONAISES

ET SUR LES

CONSTRUCTIONS EN GÉNÉRAL

AU POINT DE VUE DES TREMBLEMENTS DE TERRE[1]

ET DESCRIPTION D'UN SYSTÈME

DESTINÉ A DONNER

UNE GRANDE SÉCURITÉ AUX CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE

PAR M. J. LESCASSE.

On a beaucoup vanté la prétendue solidité des constructions japonaises contre les effets des tremblements de terre, et, à en croire certaines personnes, elles seraient des modèles en ce genre; mais nous croyons tout le contraire, et nous estimons que si les tremblements de terre n'ont pas causé plus de désastres aux constructions japonaises, cela tient plutôt à leurs dimensions restreintes, surtout en hauteur, qu'au mérite des principes qui président à leur établissement.

Les maisons japonaises sont toutes en bois; elles n'ont souvent qu'un rez-de-chaussée assez bas; le premier étage, s'il en existe un, n'a généralement que 7 à 8 pieds de hauteur, et il est rare de rencontrer des maisons ayant un second étage. On peut facilement s'en figurer le mode de construction par la description suivante :

1. Voir la séance du 6 avril 1877, page 212.

Digitized by Google

Peu ou point de fondations;

Un soubassement ou simplement des dés en pierre sur lesquels reposent des sablières recevant le pied des poteaux, ou bien des dés en pierre sur lesquels reposent des poteaux recevant eux-mêmes des sablières;

Des poteaux, en petit nombre, et entre lesquels se placent les panneaux à carreaux de papier qui ont fait dire que les maisons japonaises avaient des murs de papier. Et, en effet, toutes les divisions intérieures des maisons aussi bien que les murs de façade sont ainsi faits, que lorsqu'on enlève tous ces panneaux à coulisse il ne reste plus que les planchers, quelques poteaux de distance en distance et les plafonds;

Absence complète de liens ou de décharges soit au bas, soit au sommet desdits poteaux;

Toiture très-lourde à charpente composée de plusieurs entraits ou grosses pièces horizontales superposées, sur lesquels reposent des poteaux verticalement placés, sans contre-fiches, et dont les hauteurs sont réglées par l'inclinaison du toit; des pannes assemblées à l'extrémité des entraits superposés et de ces poteaux; des arêtiers seulement, des chevrons, de la volige, des bardeaux, des enduits de terre et de chaux, puis des tuiles lourdes.

Voilà assez succinctement comment est bâtie une maison japonaise, et l'on voit par la description que nous venons d'en faire qu'elle peut apparemment offrir certains avantages de sécurité contre les tremblements de terre peu violents, en raison du balancement que son peu de rigidité lui permet de supporter; mais nous verrons ensuite qu'elle est dans de très-mauvaises conditions pour résister à de violentes secousses horizontales.

En premier lieu, les Japonais ne font que reposer leurs constructions sur le sol, sans fondations profondes, afin, disent-ils, de n'opposer aucune résistance au déplacement latéral de la construction pendant les oscillations horizontales des tremblements de terre. Cette absence de fondations paraît logique, à première vue; mais si l'on considère attentivement la question, on admettra plus difficilement qu'il soit possible d'établir des surfaces suffisamment glissantes pour que l'effet désiré se produise convenablement. Nous pensons plutôt qu'en raison du poids de la construction et de la nature des points de contact avec le sol, on doit admettre que la maison suivra, au moins dans une grande proportion, les mouvements du sol. Dans tous les cas,

Digitized by Google

et d'après le principe japonais, les constructions à sablières reposant sur des dés en pierre seraient préférables à celles dont les sablières reposent, dans toute leur longueur, sur des soubassements en maçonnerie, et les avantages du premier système sur le second seraient en proportion des surfaces en contact avec le sol.

Il est présumable que l'expérience de la feuille de papier, qu'on peut retirer de dessous un objet lourd sans le déplacer et en agissant très-vivement, joue un grand rôle dans le principe japonais de glissement d'une construction sur ses fondements. Mais ils oublient que l'objet sera entraîné si l'on n'agit pas avec assez de vivacité, c'est-à-dire si la vitesse imprimée à la feuille de papier n'est pas suffisamment grande.

D'ailleurs, il n'est guère admissible que, dans un tremblement de terre, les oscillations ou les secousses horizontales puissent jamais atteindre une vitesse correspondante à celle de la feuille de papier dans l'expérience que nous venons de citer; et alors même que quelques-unes puissent l'atteindre, il faut encore ne pas oublier qu'il y aura des secousses qui, bien que désastreuses, n'auront pas cette vitesse, et que le plus souvent, sinon toujours, il y aura entraînement de la maison par la fondation, comme dans l'expérience de la feuille de papier, lorsque la vitesse n'est pas assez considérable.

Entre autres projets, on avait proposé, à San-Francisco, de faire reposer les constructions en bois de ce pays sur des surfaces convexes et même sur des boulets. On nous a même dit qu'au Japon on avait construit un phare reposant sur des boulets, mais que l'expérience avait condamné ce système, et qu'en définitive il avait fallu reconstruire le phare suivant les principes ordinaires. Ces différents projets de *glissement* ou de *roulement* ne sont, d'ailleurs, que des perfectionnements du principe japonais que nous avons exposé, et on comprend qu'ils ne soient guère applicables qu'à des constructions légères et en bois et dans des conditions toutes particulières.

Nous conclurons donc que si l'idée de supposer un bâtiment glissant sur sa fondation a une apparence de logique, en réalité elle n'est que bizarre, et, au point de vue pratique, doit être considérée comme absolument inconséquente. Nous croyons, enfin, qu'il est nécessaire de chercher à donner par des moyens plus rationnels la sécurité qui manque aux constructions pour résister efficacement aux tremblements de terre d'une vitesse considérable.

L'absence de liens et de décharges pour consolider les assemblages

Digitized by Google

des poteaux avec les sablières et avec la charpente supérieure est, aux yeux des constructeurs japonais, une conséquence du principe précédent : Si, disent-ils, nous admettons que nos constructions doivent glisser sur le sol pendant les oscillations horizontales, il est néanmoins à craindre qu'elles ne le fassent qu'imparfaitement, et alors le jeu que les poteaux peuvent prendre dans les assemblages remédie à l'imperfection du premier système.

Or, comme chez les Japonais tout est le résultat d'une expérience de plusieurs siècles, cette nécessité de supprimer les liens et les décharges prouve surabondamment l'inefficacité du principe de glissement de la construction sur ses fondements, bien qu'elle indique en même temps qu'une certaine élasticité est favorable à la résistance des constructions aux secousses horizontales. Car ne serait-il pas plus logique, si le glissement se produisait convenablement, de raidir toute l'œuvre, de telle manière que tout d'une pièce, et par suite de la force d'inertie qu'elle oppose, la construction glisse sur le sol sans risque de rupture dans les parties élevées.

Beaucoup d'Européens croient encore que les Japonais font leurs toitures très-lourdes en vue également des tremblements de terre. Nous pensons différemment à ce sujet, et il nous paraît que le poids considérable de leurs toitures n'est qu'une conséquence de leurs systèmes de charpente et de couverture.

Qu'on se figure une charpente dans laquelle il n'y a pas d'arbalétriers, mais bien seulement un grand nombre d'entraits superposés et des poteaux ou jambes verticalement placés, reposant directement d'une part sur l'entrait inférieur nécessairement très-fort, et de l'autre supportant l'entrait immédiatement supérieur et les pannes, puis les arêtiers si le toit est en pavillon.

Les poteaux ou jambes n'ayant pas de contre-fiches demandent, par conséquent, de forts assemblages qui conduisent ainsi à donner un excès de dimensions aux entraits, afin de leur conserver une force suffisante.

De plus, les tuiles japonaises, toutes faites à la main, sont souvent poreuses, et, par suite, nécessitent une certaine épaisseur de matières (18 à 20 millimètres) pour n'être pas traversées par la pluie; en outre, comme ces tuiles n'ont généralement que 255 millimètres de hauteur et n'ont pas de crochet, on est obligé de leur donner un recouvrement considérable, même sous une inclinaison minimum de 30°, pour obvier

Digitized by Google

aux inconvénients causés par la capillarité. Leur forme rappelle celle de la tuile Mosselman, mais elles sont beaucoup plus lourdes quoique plus petites : le mètre carré de couverture pesant (la tuile seulement) environ 60 kilos. Enfin leur forme exige qu'on les pose sur un lit de terre fraîche dans laquelle on empreint la tuile, afin que, sous l'influence du vent et des vibrations causées par les tremblements de terre, elle ne glisse pas sur la toiture; malgré cela il arrive souvent que l'eau traverse la tuile, ou bien monte par capillarité jusqu'à dépasser le recouvrement, ou bien encore soit refoulée par le vent, et alors la terre s'humecte et finit par causer la pourriture des bardeaux et de la volige. C'est pourquoi l'on a généralement recours à l'application sur les bardeaux d'un ou plusieurs enduits assez épais et capables de durcir suffisamment pour que l'humidité ne les traverse plus avec autant de facilité.

Tout cet agencement ne saurait manquer d'être lourd, et les Japonais n'ont d'ailleurs pas, que nous sachions, de raisons sérieuses à donner pour prouver que les toitures pesantes ajoutent à la solidité d'une construction en vue des tremblements de terre.

D'après ce que nous avons dit des maisons japonaises, on voit qu'en effet elles sont de nature à résister aux tremblements de terre de peu d'intensité; mais si nous cherchons maintenant à nous rendre compte de la manière dont se comportera notre bâtiment japonais sous l'action d'une violente secousse horizontale, nous arriverons à douter de sa prétendue solidité. En effet, nous avons vu précédemment que le principe de glissement de la maison sur sa base n'offrait pas de sécurité; nous avons vu aussi que l'absence de liens et de décharges fait que si le glissement ne se produit pas il y aurait oscillation à la base des poteaux. Or, si ces oscillations sont violentes, soudaines et d'une certaine amplitude, n'y a-t-il pas à craindre qu'en vertu de l'inertie que présente la grande masse de la toiture et de la vitesse considérable de l'oscillation du sol, les assemblages viennent à se rompre et que la construction s'effrondre comme un château de cartes?...

On sait que l'inertie est d'autant plus grande que la masse et surtout la vitesse sont plus considérables ($1/2\,MV^2 = 1/2\,\frac{P}{g}V^2$), par conséquent si, dans le cas qui nous occupe, le poids de la toiture est grand et que la vitesse de l'oscillation soit aussi très-grande, il s'en suivra, nécessairement, que l'effort exercé sur les assemblages de poteaux

Digitized by Google

sera énorme, qu'ils se rompront si le glissement n'a pas lieu, et par suite que la construction s'écroulera.

Dans tous les cas, l'augmentation de poids dans la toiture plutôt que dans les parties basses de la construction ne peut qu'aggraver le danger pendant les oscillations horizontales. C'est, d'ailleurs, l'impression qui nous est restée à la suite des tremblements de terre, déjà nombreux, que nous avons ressentis, et nous avons plus de confiance dans une maison lourde à la base, et avec une toiture légère, mais solide et bien entendue.

Tout ce que nous avons dit des maisons japonaises peut s'appliquer à la construction des palais et des temples japonais; ce sont toujours les mêmes principes et les mêmes systèmes, avec cette seule différence que les palais et les temples sont plus grands et proportionnellement plus solidement bâtis que les constructions ordinaires.

Nous n'avons jusqu'ici parlé que des oscillations horizontales parce qu'elles sont évidemment plus désastreuses, au moins pour les constructions en bois, cependant les tremblements de terre se font souvent sentir par des oscillations verticales, des ondulations, des tournoiements, parfois toutes les espèces d'ébranlements agissent en même temps.

Les précautions à prendre contre les secousses verticales sont, d'ailleurs, de la nature de celles qu'on prendrait dans les conditions ordinaires pour donner à une construction le plus de solidité possible, c'est-à-dire : murs très-épais, fondations très-solides, matériaux de très-bonne qualité et d'une grande résistance à l'écrasement, et, de plus, un parfait agencement des diverses parties de la construction, surtout des planchers et autres parties horizontales, dont l'élasticité pourrait considérablement nuire aux murs circonvoisins pendant les oscillations verticales.

Tous les autres mouvements du sol n'étant que les combinaisons des oscillations horizontales et verticales, il est permis d'en conclure que si l'on a pris toutes les précautions voulues contre ces deux espèces de mouvements, on aura donné à la construction la plus grande somme de solidité possible contre les autres mouvements d'ondulation, de tournoiement, etc.

Il est bon de remarquer aussi que dans presque tous cas la super-

Digitized by Google

ficie occupée par une construction comparée à l'amplitude d'une ondulation est ordinairement assez petite pour qu'on puisse, jusqu'à un certain point, considérer les fondations d'une maison comme reposant sur une surface plane, sinon toujours horizontale, vibrant ou oscillant tout d'une pièce. Et, à l'appui de notre opinion, nous citerons un renseignement, que nous devons à l'obligeance de M. H. Pélegrin, ingénieur des usines à gaz de Yokohama et de Yédo. Depuis plus de trois années que le gaz y est installé, on n'a encore remarqué, jusqu'ici, aucune fuite dans les conduites souterraines en fonte, même les plus faibles, qui ait été causée par les tremblements de terre; cependant il y a plus de 35 kilomètres de tuyaux en fonte posés dans Yokohama et près de 20 dans Yédo.

Reconnaissons toutefois qu'il est impossible de préserver les constructions contre les tremblements de terre dans lesquels le sol se crevasse, ou alors que d'autres effets tout aussi épouvantables se produisent. Fort heureusement de telles catastrophes sont relativement rares, et l'on n'a le plus souvent à craindre que des tremblements de terre moins violents, mais suffisants néanmoins pour renverser des édifices solidement établis d'après les moyens ordinairement employés dans l'art de bâtir.

Avant de parler des constructions en maçonnerie, nous dirons quelques mots d'une manière économique de construire en bois qui nous paraît offrir beaucoup d'avantages joints à une très-grande sécurité contre les tremblements de terre.

Elle consiste dans l'établissement d'un pan de bois à vides très-grands et hourdés de maçonnerie de briques ou de moellons bien exécutée, et dans la consolidation des assemblages les plus importants par des liens, des tirants, des ancres et des équerres en fer.

Mais on objectera, sans doute, que si les parties des murs extérieurs en maçonnerie ne sont pas recouvertes d'enduits très-imperméables, elles seront constamment traversées par l'humidité, et par conséquent malsaines, en même temps qu'elles contribueront à faire pourrir les bois avec lesquels elles seront en contact. Car, en effet, dans les pans de bois ordinaires, les parties en maçonnerie de briques n'auront jamais plus d'une longueur de briques d'épaisseur, soit environ 22 centimètres; et l'on sait qu'un mur en briques de cette épaisseur est généralement très-humide et qu'il est même difficile (dans certains pays et

Digitized by Google

sous certaines influences climatériques) de le rendre tout à fait imperméable.

Nous signalerons donc un moyen que nous n'avons jamais vu employer en Europe de mettre à l'abri de l'humidité aussi bien le pan de bois que la maçonnerie de remplissage, et, par suite, de rendre une habitation en bois aussi saine et confortable que solide.

Sur la face extérieure des murs, on cloue diagonalement ou transversalement des lattes d'environ 8 à 10 centimètres de largeur sur 2 centimètres d'épaisseur.

Puis, sur ces mêmes lattes, on cloue une espèce de tuile plate ou carreau en terre cuite quelquefois vernissée, appelée par les Japonais « *taté cavaza* » (tuile qui se place sur champ ou debout; tuile de revêtement). Pendant la fabrication, on a ménagé pour le clouage un petit trou à chacun des angles de cette tuile, et elle a ordinairement 30 centimètres de côté et 2 ou 3 centimètres d'épaisseur.

Enfin, on recouvre le tout de plusieurs couches d'enduits. Les Japonais ne font souvent que jointoyer cette tuile un plus ou moins grand nombre de fois consécutivement.

Il est facile de reconnaître que la couche d'air de 2 centimètres d'épaisseur qui existe entre le mur et la tuile plate ou carreau de revêtement suffit pour empêcher que l'humidité gagne le plein des murs, et nous avons souvent remarqué de très-vieilles constructions japonaises dans lesquelles les lattes elles-mêmes étaient restées assez saines.

Les fondations seront établies suivant les règles ordinaires et sans se préoccuper du glissement possible ou impossible de la construction sur le sol ou sur ses fondements pendant les tremblements de terre.

La toiture sera solide, mais aussi légère que possible.

Voilà la construction bon marché qui nous paraît la meilleure et la plus pratique dans presque toutes les colonies, qu'il y ait ou non des tremblements de terre à redouter; car, en outre de la solidité, elle possède encore l'avantage d'être très-saine et confortable. Elle est préférable aux constructions purement en bois par des raisons d'incendie, de chaud, de froid, de rongeurs, etc.; et, en cas de tremblements de terre, elle est plus solide que les mauvaises constructions en maçonnerie.

Digitized by Google

CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE

Nous ne nous sommes, jusqu'à présent, que très-peu occupé des constructions en maçonnerie, et ce que nous avons dit des constructions japonaises suffit pour donner une idée de la manière dont les Japonais combinent la charpente de leurs maisons pour les prémunir contre les effets désastreux des tremblements de terre. Les pages qui précèdent seront peut-être de nature à intéresser les constructeurs lorsqu'ils auront à construire des bâtiments en bois dans les pays où l'on a à craindre les tremblements de terre.

Mais nous croyons intéressant aussi de dire quelques mots sur les *constructions en maçonnerie* en général et considérées au point de vue qui nous occupe.

En thèse générale, la perfection dans une construction en maçonnerie serait que les matériaux et le ciment qui les relie devinssent assez adhérents pour qu'on pût considérer l'ensemble des murs comme étant un *monolithe*.

Évidemment, c'est ici le cas de n'accorder aucune confiance au principe japonais de *glissement* de la construction sur ses fondements, en raison du poids considérable de la maçonnerie et de la grande surface de frottement qu'offre la base des murailles. Il est donc, en définitive, plus rationnel de fixer, comme d'habitude, la construction au sol, et de l'établir sur des fondations très-solides; d'en faire enfin un édifice *rigide*, plus lourd à la base qu'au sommet.

En nous servant des mots *monolithe* et *rigide* nous n'entendons cependant point renoncer à l'*élasticité* que toute maçonnerie conserve toujours plus ou moins, car cette *élasticité* est sûrement indispensable, surtout dans les cas de secousses subites et saccadées que parfois on ressent pendant les tremblements de terre. La maçonnerie de briques étant entre toutes celle qui conserve le plus d'élasticité en vertu de la

Digitized by Google

multiplicité des joints, nous avons même, jusqu'ici, donné la préférence à ce mode de construction dans les différents travaux qui nous ont été confiés en Chine et au Japon.

Dans un tremblement de terre que nous avons ressenti à Fou-Tchéou (Chine), en 1867, nous avons vu d'un premier étage, et absolument sous nos yeux, un mur de clôture en maçonnerie de briques d'environ 15 mètres de longueur, 2 mètres de hauteur d'une longueur de brique en épaisseur, et entièrement isolé à une de ses extrémités, osciller, à l'extrémité isolée, d'une quantité que nous apprécions être 8 ou 10 centimètres à droite et à gauche de sa position normale. Empressons-nous de dire que, comme nous étions nous-mêmes en mouvement, notre appréciation pourrait être erronée, et, par conséquent, les chiffres que nous donnons comme amplitude de l'oscillation à l'extrémité isolée du mur ne sauraient être regardés comme absolument exacts. Après le tremblement de terre, néanmoins, on ne remarquait aucune trace de rupture ni dans les briques ni même dans les joints. La maçonnerie, il est vrai, était assez mal faite, les joints très-épais et le mortier de qualité très-ordinaire ; et peut-être que si la maçonnerie avait été mieux faite, se rapprochant davantage du monolithe, elle aurait bien moins résisté à cette série d'ébranlements d'une grande amplitude. La maison dans laquelle nous nous trouvions était bâtie en maçonnerie de briques avec chambranles de portes et de fenêtres en pierre, la maçonnerie de briques résista, mais plusieurs fractures s'étaient produites dans les parties en pierres.

Il semble donc assez évident qu'une certaine élasticité est favorable, et qu'une homogénéité aussi parfaite que possible est une des conditions à remplir.

Bien que la maçonnerie de briques ait sur la maçonnerie faite avec des matériaux de gros échantillons l'avantage d'une grande élasticité en raison du plus grand nombre de joints, il ne faut cependant pas oublier que, dans le cas de secousses verticales, c'est surtout la résistance des matériaux à la compression ou à l'écrasement qu'il faut avoir en vue. Il est donc indispensable aussi que les briques soient très-résistantes.

Nous décrirons, en terminant cette étude, un système d'armatures applicable aux constructions en maçonnerie, à l'aide duquel on peut bâtir aussi bien avec des matériaux de gros échantillon qu'avec des briques.

Digitized by Google

Il n'y a que peu d'années qu'on a commencé à construire en maçonnerie de briques au Japon (à l'Arsenal de Yokoska, vers 1867). Les Japonais ne connaissaient point les briques, ou du moins ils ne s'en servaient pas pour bâtir. De même, ils ne se servaient de la pierre que dans les soubassements ou bien pour revêtir extérieurement les pans de bois de certains magasins. Il serait donc téméraire, pour nous, de prétendre établir définitivement et dès à présent que les constructions solides et bien faites en maçonnerie résistent mieux que les meilleures constructions en bois. D'autre part, les tremblements de terre ont été relativement peu violents au Japon depuis 22 ou 23 ans, et fort heureusement, d'ailleurs, de semblables expériences ne peuvent se faire que dans un nombre de pays assez restreint. Ainsi, si cette importante question est résolue dans d'autres pays, au Japon elle ne le saurait être encore, et nous aimons mieux revenir sur des choses connues ailleurs que de nous exposer à commettre des erreurs dont les conséquences sont toujours fatales en pareil cas.

Cependant, plusieurs de nos constructions en briques ont déjà supporté des secousses de tremblements de terre assez violentes, et jusqu'à présent elles ont paru mieux résister que des constructions analogues en bois.

Néanmoins, nous n'avons jamais cessé d'étudier les moyens d'ajouter à la solidité des constructions en maçonnerie, car on ne saurait incontestablement prendre trop de précautions pour préserver, dans la limite du possible, les habitations contre les effets désastreux des tremblements de terre.

Nous connaissons également, au Japon, plusieurs cheminées d'usines en briques, avec ou sans armatures en fer extérieures, et toutes ont, jusqu'ici, parfaitement résisté aux tremblements de terre : et cependant ces cheminées sont d'excellents exemples de constructions répondant à nos vues; elles sont solidement fixées au sol et beaucoup plus légères au sommet qu'à la base; elles ont aussi une élasticité très-prononcée en raison de leur hauteur et leur homogénéité est assez parfaite.

Nous nous bornerons, pour le moment, à ces quelques considérations générales sur les constructions en maçonnerie, parce qu'on trouvera dans les pages suivantes le complément nécessaire à ce que nous avons déjà dit.

Digitized by Google

DESCRIPTION D'UN SYSTÈME

DESTINÉ A DONNER

AUX CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE

une très-grande sécurité

CONTRE LES TREMBLEMENTS DE TERRE

La question des tremblements de terre a jusqu'ici, et avec raison, sérieusement préoccupé les constructeurs dans les pays où ces phénomènes sont fréquents, et au Japon ont croit généralement que les constructions en bois résistent mieux que les constructions en maçonnerie.

Nous ne sommes pas entièrement de cet avis, car il nous a toujours semblé que les constructions en maçonnerie, à murs très-épais, composés de matériaux de bonne qualité et solidemet reliés aux charpentes des planchers et du toit, offraient autant de sécurité contre les tremblements de terre, tout en étant beaucoup plus durables, que les constructions japonaises et que les constructions en bois. Néanmoins, et puisque l'opinion contraire a jusqu'ici prévalu au Japon, nous avons cru devoir rechercher les moyens d'obvier à ce prétendu manque de solidité, et nous espérons avoir trouvé une solution aussi simple et efficace que peu dispendieuse, et qui permet de rendre les constructions en maçonnerie incontestablemcnt plus résistantes que les meilleures constructions en bois.

En raison, d'une part, de la rareté de plus en plus grande des bois de charpente, et, d'autre part, de l'extension donnée à la fabrication

Digitized by Google

des briques au Japon, le prix de revient des constructions en maçonnerie diminue tous les jours, tandis que celui des constructions en bois augmente. Le plus sérieux obstacle à l'adoption des constructions en maçonnerie n'est donc plus, aujourd'hui, que dans la croyance qu'elles n'offrent pas suffisamment de sécurité contre les tremblements de terre.

Il serait cependant dangereux de chercher à atténuer encore la différence des prix de revient par l'emploi dans les constructions en maçonnerie de matériaux de qualité inférieure, ou bien en diminuant l'épaisseur des murs. L'économie ne saurait non plus porter sur la suppression des moyens les plus efficaces pour relier les murs aux charpentes et entre eux. D'une manière comme de l'autre, les conséquences dues à cette fausse économie pourraient être fatales. Lorsque l'on construit en maçonnerie dans un pays où l'on a à redouter les tremblements de terre, il paraît absolument indispensable de *bien construire*, si l'on veut être certain d'obtenir une plus grande sécurité que dans les constructions en bois.

Depuis longtemps déjà et dans plusieurs pays, on avait cherché à augmenter la sécurité des constructions en maçonnerie, sans toutefois augmenter outre mesure les dépenses. Nous connaissons plusieurs systèmes d'armatures, de ceintures et de tirants en fer dont l'efficacité est plus ou moins prouvée. De même, nous avions pensé, vraisemblablement avec beaucoup d'autres ingénieurs et architectes, à introduire dans les constructions en maçonnerie des sablières et des montants principaux en tôle de fer, en fers de forme spéciale ou en fonte, et entre lesquels on bâtirait en pierre, brique ou béton. Mais, à première vue, on voit que les dépenses se seraient trouvées augmentées dans une très-grande proportion par suite de la quantité considérable de matière, fer et fonte, et aussi de main-d'œuvre, que l'application de ces différents systèmes aurait nécessitée.

Enfin, j'ai eu l'idée suivante, dont la simplicité est peut-être le plus grand mérite, et qui est surtout applicable aux constructions en maçonnerie de pierre et de brique.

Supposez un certain nombre de briques posées les unes sur les autres, de la même manière que pour faire un mur en maçonnerie, mais à sec, sans mortier; puis, qu'on secoue la table sur laquelle ce petit mur factice repose; il est évident que les briques « dégringoleront » dans tous les sens. Mais si ce tas de briques est fortement lié

Digitized by Google

par une ficelle, un fil ou une bande de fer, n'est-il pas vrai qu'il n'y aura plus désagrégation du tas de briques ou du mur, et qu'il ne risquera plus de tomber, tout d'une pièce, soit à droite, soit à gauche, c'est-à-dire en dehors ou en dedans de la construction dont le petit mur factice est supposé faire partie.

Toute l'idée nouvelle est là, et il ne s'agit plus que de l'appliquer aux constructions

En raison de l'épaisseur ordinaire des murs en maçonnerie, on peut considérer une partie de mur ayant la hauteur d'un étage et une largeur à peu près égale, comme étant un tas ou un paquet de briques ou d'autres matériaux, qu'on peut lier fortement, et, par suite, consolider au point de vue de la désagrégation des matériaux, absolument comme nous le faisions précédemment pour le tas de briques.

Il en sera évidemment de même pour toutes les parties voisines, et, enfin, de tous les murs de la construction.

Supposez ensuite que l'on ait relié entre eux tous ces différents paquets ou tas de maçonnerie, et l'on aura alors une construction toute aussi homogène et résistante, par elle-même, que toute autre construction en maçonnerie, mais à laquelle on aura ajouté une force de résistance à la rupture (ou à la désagrégation des matériaux) égale à la force des fers qu'on aura employés comme *liens*.

On pourrait donc formuler ainsi notre principe : ***Lier la maçonnerie en tas ou paquets reliés entre eux, de telle sorte que les matériaux ne puissent se séparer ni les murs se déchirer.***

Il ne reste donc plus qu'à soutenir les murs contre une chute en dehors ou en dedans de la construction. Le moyen le plus simple et le plus rationnel d'y arriver me paraît être l'emploi de forts cadres en bois ou en fer, reposant sur l'épaulement formé par la différence d'épaisseur des murs aux différents étages, et contenant solidement assemblées les principales pièces des charpentes des planchers et du toit; les murs devant toujours être fortement ancrés aux cadres et aux grosses pièces de charpente aussi bien que les différents cadres solidement reliés entre eux, s'il y a plusieurs murs de refend à chaque étage. Si la grande portée des murs l'exige, on peut compléter la rigidité des côtés des cadres par des tirants en fer. Nous avons fait usage de ces divers moyens dans presque toutes les constructions en maçonnerie que nous avons bâties au Japon.

Quant à l'idée nouvelle, elle nous paraît devoir être d'une applica-

Digitized by Google

tion très-économique, par la raison que le fer y est employé dans les conditions les plus favorables à l'économie de la matière, c'est-à-dire en les soumettant à des efforts de traction.

On sait, en effet, qu'une tige de fer de 1 centimètre carré de section supporte, avec une très-grande sécurité, une charge minimum de 1,000 kilogrammes, et que la rupture de cette même tige peut, suivant la qualité du fer, ne se produire que sous une charge de 4 à 6,000 kilogrammes.

On voit par là qu'avec des fers de faible dimension on peut arriver à augmenter dans une très-grande mesure la solidité des constructions en maçonnerie contre les effets désastreux des tremblements de terre.

APPLICATION.

Il nous reste maintenant à décrire comment on devra appliquer notre système.

DESCRIPTION.

Dans la fondation, un peu au-dessous du sol, on place horizontalement, et dans une rainure pratiquée à cet effet vers le milieu de la largeur de l'assise, des barres de fer plat A, reliées les unes aux autres par le moyen des tiges de fer rond B, qui passent dans les trous *a* ouverts à chaud aux extrémités des fers plats A. (Voir pl. 96.)

La tête des tiges verticales B a également été forgée à chaud, et se trouve, lorsque les tiges sont en place, au-dessous des barres horizontales A.

La section des barres plates A est égale à celle des tiges rondes B, et la longueur de ces dernières correspond à la hauteur de l'étage. On fait aussi la longueur *maximum* des barres A à peu près égale à celle des tiges B, afin d'obtenir des *paquets* de maçonnerie à peu près carrés.

La partie supérieure des tiges rondes B est filetée pour recevoir un écrou, ou percée pour recevoir une clavette; et une fois en place, elles sont maintenues parfaitement d'aplomb.

On construit alors la maçonnerie comme d'ordinaire au-dessus des

Digitized by Google

barres A et tout autour des tiges B, en ayant soin toutefois d'employer les meilleurs matériaux aux points d'assemblage des fers, c'est-à-dire aux angles des *paquets*, et aussi de bien croiser les joints de la maçonnerie autour des tiges verticales.

Lorsque la maçonnerie a atteint la hauteur d'un étage, on ferme les paquets de maçonnerie par d'autres barres en fer plat A'. Ces barres plates A' ont la même section que celles A, mais au lieu d'un seul trou à chacune de leurs extrémités, elles en ont deux, a' et b, dont l'un a' sert au passage de la partie supérieure de la tige B du rez-de-chaussée, et l'autre b au passsage de la tige B' du premier étage.

Si on ne ferme pas les paquets à l'aide d'une clavette, on boulonne solidement et avec un écrou suffisamment long l'extrémité des tiges B. On maintient dans une position verticale les tiges du premier étage B', et on recommence la maçonnerie ainsi qu'on a fait au rez-de-chaussée.

On comprend que notre système puisse s'appliquer à un aussi grand nombre d'étages qu'on le voudra, et qu'enfin lorsqu'on arrive au sommet des murs en maçonnerie on ferme les *paquets* par des barres de fer plat A'', dont les extrémités ne sont percées que d'un seul trou b'.

DILATATION.

Bien que la dilatation n'ait pas ici une bien grande importance, cependant il est bon d'en tenir compte.

On peut admettre, à cet effet, qu'à l'intérieur d'un mur en maçonnerie la différence entre les températures extrêmes ne sera jamais plus de $-10°$ à $+30°$ centigrades; soit $40°$ centigrades.

La dilatation du fer étant, en moyenne de 0,0000125 par mètre de longueur et par degré, nous aurons donc comme dilatation extrême pour les barres et les tiges du rez-de-chaussée, lesquelles ont, au plus, 4 mètres de longueur :

$$0^m,0000125 \times 40° \times 4^m = 0^m.002 \text{ millimètres},$$

soit une dilatation maximum de *deux* millimètres seulement, mais dont il sera bon, néanmoins, de se préoccuper pendant le réglage des longueurs des fers, leur assemblage et leur serrage.

L'effet dû à la dilatation peut, d'ailleurs, être annulé par un peu de

Digitized by Google

jeu également réparti, et par l'emploi aux extrémités des tiges verticales de petites cales en bois de sapin, par exemple, ou par tout autre moyen.

DÉTERMINATION DES DIMENSIONS A DONNER AUX FERS.

SECTION DES TIGES DU REZ-DE-CHAUSSÉE.

Nous pensons donner aux fers des dimensions en rapport avec la résistance *maximum* à la rupture, ou, ce qui revient au même, à la résistance au crevassement des parties de maçonnerie formant un *paquet plein*, c'est-à-dire un paquet ne comprenant ni porte ni fenêtre.

Si donc (comme dans l'exemple donné pl. 96) on a, au rez-de-chaussée, des tiges et des barres de fer de 4 mètres de longueur, et des murs extérieurs de $0^{m}.40$ centimètres d'épaisseur, la section d'un des paquets pleins de maçonnerie sera :

$$4^{m} \times 0^{m}.40 = 1^{mq}.60 \text{ ou } 1{,}600.000 \textit{ millimètres} \text{ carrés.}$$

Admettons ensuite qu'une crevasse ait à se produire dans une partie pleine (ou *paquet plein*) de maçonnerie, et supposons cette maçonnerie en brique de qualité ordinaire et mortier de chaux grasse et sable.

La charge de rupture de cette brique étant (d'après Claudel) $0^{k}.08$ par millimètre carré de section, et celle du mortier $0^{k}.04$, en raison des joints de la maçonnerie, nous prendrons comme résistance maximum à la rupture ou au crevassement, la moyenne des deux valeurs ci-dessus :

$$\text{Soit : } 0^{k}.06. \qquad (1)$$

Nous aurons alors pour l'effort de rupture d'un paquet plein de maçonnerie :

$$1.600.000^{mmq} \times 0^{k}.06 = 96.000 \text{ kilos,}$$

valeur qui représente la résistance maximum au crevassement d'un « *paquet plein* » de maçonnerie de brique ordinaire.

Supposons maintenant que nous nous imposions de doubler cette résistance maximum d'un *paquet plein*. Pour cela, et puisque deux

Digitized by Google

tiges ou barres agissent ensemble, nous n'aurons qu'à calculer la section d'une tige de fer capable de résister à la moitié de la charge ci-dessus, soit: 48,000 kilos.

La charge de rupture du fer qui nous convient est d'envion 40 kilos par millimètre carré de section;

d'où $\frac{48.000}{40} = 1.200$ millimètres carrés (2)

pour la section du fer capable d'une résistance égale à celle de la maçonnerie que nous avons supposée; ce qui correspond à du fer rond de 40 millimètres de diamètre (3).

Remarque. — Il faut remarquer qu'en réalité nous avons fait bien plus que doubler la résistance de nos murs, car nous avons opéré sur un paquet plein de maçonnerie, tandis que la plupart des paquets comprennent une porte ou une fenêtre.

Appliquons donc nos calculs à un paquet contenant une fenêtre de $1^m.80$ hauteur.

La section du mur en cet endroit ne sera plus que :

$(4^m - 1^m.80) \times 0^m.40 = 0^{mq}.88$ ou 880.000 millimètres carrés.

Mais, dans la pratique, il convient de ne pas supposer à la maçonnerie une résistance permanente de plus de 1/10 de sa charge de rupture.

Nous aurons donc comme coefficient de résistance (1) :

$$\frac{0^k.06}{10} = 0^k.006; \qquad (1)$$

d'où $880.000^{mmq} \times 0^k.006 = 5.280$ kilos.

Ces 5.280 kilos représentent donc, en définitive, l'effort de résistance dont est capable un de nos paquets de maçonnerie percé d'une fenêtre.

De même, dans la construction, on ne doit pas faire supporter au fer que nous supposons une charge permanente de plus de 10 kilogrammes par millimètre carré de section; soit le 1/4 de sa charge de rupture (2).

La résistance d'une très-grande sécurité, en pratique, du fer de 40 millimètres de diamètre (3) sera donc :

Digitized by Google

Section en millimètres carrés du fer de 40 millimètres de diamètre : 1.256 millimètres carrés;

$$1.256^{mmq} \times 10 \text{ kil.} = 12.560 \text{ kilos}$$

pour chacune des deux tiges ou barres qui agissent ensemble, soit pour les deux tiges : = 25.120 kilos.

D'où il ressort qu'en définitive nous avons augmenté la résistance au crevassement des murs de notre maison dans la proportion de :

$$5.280 : 25.120,$$

ou

$$1 : 4.75,$$

c'est-à-dire que nous avons presque *quintuplé* la résistance de nos murs contre les tremblements de terre (au moins aux endroits des portes et fenêtres).

SECTION DES TIGES DU PREMIER ÉTAGE.

On trouverait de même que la section des fers pour le premier étage devrait être, pour doubler la force de résistance d'un paquet plein :

$$\frac{3^m.40 \times 0^m.35 \times 0^k.06}{2 \times 40^k} = 892 \text{ millimètres carrés de section.}$$

$3^m.40$ = longueur des tiges ou hauteur de l'étage;
$0^m.35$ = épaisseur des murs du premier étage;
$0^k.06$ = charge de rupture de la maçonnerie;
2 = nombre de tiges ou barres agissant dans le même sens et sur un même paquet de maçonnerie;
40^k = charge de rupture du fer.

892 millimètres section d'une tige ou d'une barre de fer; ce qui correspond à du fer rond de 34 *millimètres de diamètre.*

SECTION DES BARRES DE FER PLAT.

La section des barres de fer plat devra, puisque nous faisons les paquets de maçonnerie à peu près carrés, être égale à celle des fers ronds; il est donc facile de déterminer leurs dimensions, largeur et épaisseur.

Digitized by Google

Ainsi, dans l'exemple que nous avons donné, nous choisirons pour les barres du rez-de-chaussée du fer de 60 millimètres sur 20 millimètres ; $60 \times 20 = 1.200$ millimètres carrés de section (correspondant au fer rond de 40 millimètres de diamètre), et pour les barres plates du premier étage, 50 millimètres sur 18 millimètres ; $50 \times 10 = 800$ millimètres carrés (correspondant au fer rond de 34 millimètres de diamètre).

Nota. — La section des fers des murs de refend pourrait être également calculée proportionnellement à la section de ces mêmes murs.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS D'AUTRICHE

PREMIER TRIMESTRE 1877.

Régularisation du Danube et transformation de la ville de Vienne, par l'architecte W. Flattich.

Construction des ponts en pierre en France, par M. F. Kreuter.

L'auteur fait remarquer qu'on construit en France les voûtes des ponts en matériaux de faibles dimensions, reliés entre eux par du mortier, et que ce mode de construction est poussé à la perfection.

En France on construit des ponts en pierre pour chemins de fer qui ont jusqu'à 50 mètres de portée. Le travail s'exécute rapidement et à bon marché. Sauf les chaînes, les corniches, les voussoirs et les parapets, on ne rencontre pas de taille dans ces ouvrages.

M. Kreuter donne la composition des mortiers et la nature des matériaux employés. Il décrit le viaduc de Bouchat, de Vignols, le pont de la Loire, à Nantes, le pont National et celui du Point-du-Jour, à Paris; enfin le pont de Saint-Sauveur-les-Bains. Le prix des ponts en pierre, en France, réduit au cube de la maçonnerie, revient à 40 francs le mètre.

Pont suspendu entre New-York et Brooklyn, par C. de Popp. Les dimensions de cet important ouvrage sont : la partie entre les piliers de rive 486m,9; la partie entre les piliers et le puits à câble 283,7. La longueur de la rampe, du côté de New-York, est de 476,6, et celle de Brooklyn 296,2. La longueur de la construction 1826,60.

La largeur du pont, soit 25,9, se décompose ainsi : 10,66 pour la voie charretière; 7,92 pour les deux voies ferrées, 4,57 pour les piétons. Le milieu du tablier est à 41,2 au-dessus des hautes eaux. Les piliers ont une hauteur de 82,7. La fondation descend à 23,8 au-dessous de l'eau. Chacun des quatre câbles se compose de 19 faisceaux de 326 fils, ou en tout 6,224 fils d'acier de 3,2 millimètres d'épaisseur. Le diamètre du câble est de 0,39, sa résistance 10,000 tonnes. Chaque fil est essayé à une traction de 1,800 kilos. La construction a commencé en 1870, et on espère l'achever en 1879. Le travail est confié à M. W.-A. Robling. Le devis est de 17 millions de francs.

Compte rendu de la Commission pour calculer les fers à double T.

Cette Commission avait pour mission de recalculer les moments d'inertie des fers à double T et d'y appliquer le sytème métrique. La formule dont elle s'est servie est :

$$\frac{PL}{8} = \frac{1}{6}\left(\overline{BH}^2 - (B-b)\frac{h^3}{H}\right)S.$$

On a recalculé 11 fers à T dont les hauteurs variaient de 0,400 à 0,105.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS DE HANOVRE

PREMIER TRIMESTRE 1877.

Maison d'habitation du juge de commerce Wagner, dans la rue Bismarck, à Aix-Burtscheid, par l'architecte Ewerbeck.

Le pont sur le Danube, à Buda-Pesth, par M. Seefehlner.

Étude très-complète de sa construction et du montage. Les deux villes, Buda et Pesth, étaient réunies par un pont suspendu, construit par un ingénieur anglais, M. Clark. Le nombre d'habitants, en 1780, était 25,666, et en 1870, 270,476. L'adjudication a eu lieu en 1872, et c'est Filiul Brody qui a reçu la commande, et la maison Cail fut autorisée de s'y associer. La construction devait être terminée en dix-huit mois. Le pont a 4 travées de 94 mètres, la hauteur de la poutre est de 9m,80. Deux voies.

Détermination graphique des moments d'inertie des fers à T, par M. Mohr.

Tableau des moments, moyen d'abréger les calculs des pièces de pont, par le docteur Zimmermann, ingénieur des chemins de fer de l'empire allemand.

Détermination des dépôts entraînés par les rivières, par M. Pralle, à Kiel.

Enduit imperméable des voûtes de pont, par Osthoff, de Penig.

Bathomètre de Siémens.

Puits artésiens de la Hongrie, par M. Szumrak.

Essai du pont Marguerite, sur le Danube, à Buda-Pesth.

DEUXIÈME TRIMESTRE.

Calcul de la forme et de la tension d'une poutre de pont de 72 mètres de portée, par M. Quietmeyer, de Hanovre.

Chemin de fer à voie étroite, de Ocholt à Westertede (duché d'Oldenbourg), par M. Burech, d'Oldenbourg.

Enfoncement des pilotis en fer par l'eau comprimée, par M. Wendland, de Schneidemühl.

Exploitation de pierre à Martinschitza, pour le port de Fiume, par M. Punkosti.

N. SERGUEEFF.

Paris. — Imprimerie E. CAPIOMONT et V. RENAULT, rue des Poitevins, 6.

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET ET AOUT 1877)

N° 42

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Modification des Statuts* (séances des 6 et 20 juillet et 3 août, pages 480, 487 et 502).

2° *Prix de cent mille francs*, à décerner par le Conseil général de la Guadeloupe à l'inventeur d'un *Nouveau procédé d'extraction du jus de la canne ou de la fabrication du sucre* (séance du 6 juillet, page 480).

3° *Bois* (*Préparation des*), par le procédé John Blythe, par M. Leroide (séance du 6 juillet, page 481).

4° *Freins continus dans les trains en marche* (*Application de l'électricité à la manœuvre des*) (séance du 6 juillet, page 485).

5° *Concours ouvert à l'École Monge*, pour l'obtention de bourses dans la division préparatoire aux écoles du Gouvernement (séance du 20 juillet, page 487).

6° *Éclairage des ateliers par l'électricité*, par M. Fontaine (séance du 20 juillet, pages 488).

7° *Fours à réchauffer les bandages des roues*, par M. Arson (séance du 20 juillet, page 497).

Digitized by Google

8° *Eaux de Seine* (*Distribution des*) *dans la banlieue de Paris*, par M. Dumont (séance du 20 juillet, page 500).

9° *Etau à mouvement parallèle*, présenté par M. Arson (séance du 3 août, page 503).

10° *Railways de la Grande-Bretagne*, par M. Gaudry (séance du 3 août, pages 503 et 533).

11° *Marine de la Grande-Bretagne*, par M. Gaudry (séance du 3 août, pages 503 et 547).

12° *Réservoirs* (*Construction économique des murs de*), par M. Ansart (séance du 3 août, pages 505 et 581).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Ansart, membre de la Société, une étude sur les moyens *d'utiliser les réservoirs naturels et la construction économique de réservoirs artificiels pour les irrigations, au Chili et dans les pays accidentés.*

De M. Auguste Mercier, membre de la Société, deux exemplaires d'une note sur un procédé de *Solidification du sulfure de carbone.*

De M. Valton, membre de la Société, un exemplaire d'un rapport *sur le fer et l'acier* (*Exposition internationale de Philadelphie*).

De M. Delesse, un exemplaire d'une note sur les *Gisements de chaux phosphatée de l'Estramadure.*

De M. Lacroix, éditeur, un exemplaire d'une note sur la *Découverte de l'éther atmosphérique*, par M. P.-F.-P. Delestre, ingénieur.

De M. Jeanson, membre de la Société, un exemplaire de son *Annuaire des Mines et de la Métallurgie françaises.*

De M. Léger, membre de la Société, un mémoire sur la *Constitution moléculaire des corps trempés.*

De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, un exemplaire d'une note en *réponse aux observations présentées* par M. Mouchez, *au sujet de l'ouvrage concernant la nouvelle navigation, dont les 35 premières feuilles ont été déposées sur le bureau, dans la séance du 14 mai.*

Digitized by Google

De M. Edmond Roy, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Chemins de fer d'intérêt local.*

De M. Gobert, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur la *Sécurité absolue dans les trains en marche*, au moyen du système de M. E. de Baillehache.

De MM. Georges Dumont et Doat, membres de la Société, une note sur la *Distribution des eaux de Seine.*

De M. Benoît Duportail, membre de la Société, deux exemplaires d'un *Complément de l'Algèbre, analyse sommaire du traité élémentaire et pratique de la résolution générale des équations d'un degré quelconque.*

De la Société des *Chemins de fer sur routes à traction de locomotives* un exemplaire d'une note sur les *Tramways-vapeur.*

De M. Wazon, ingénieur, un exemplaire d'une notice sur le *Chauffage et la ventilation.*

De M. Jules Gaudry, membre de la Société, une note sur la *Marine actuelle de la Grande-Bretagne.*

Académie royale des Lincei, les numéros 5 et 6 de leur publication.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de mai et juin 1877.

Annales industrielles, les numéros de mai et juin 1877.

Annales des ponts et chaussées, les numéros de mars et avril 1877.

Annales des mines, le numéro de la 6e livraison de 1877.

Annales du Génie civil, les numéros de mai et juin 1877.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées, les numéros de mai et juin 1877.

Annales de la construction (Nouvelles), les numéros de mai et juin 1877.

Annales des chemins vicinaux, les numéros de mai et juin 1877.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, le numéro de son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, le numéro de son bulletin.

Digitized by Google

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, les numéros 1 et 2 de son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine, les numéros de juillet et août 1877.

Comité des forges de France, les numéros 125 et 126 du bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, les numéros de juillet et août 1877.

Courrier municipal (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Écho des Mines et de la Métallurgie (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Écho Industriel, les numéros de mai et juin 1877.

Économiste (L') (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Encyclopédie d'architecture, les numéros de mai et juin 1877.

Engineering, les numéros de juillet et août 1877.

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago), les numéros de mai et juin 1877.

Gazette des Architectes, le numéros de mai et juin 1877.

Gazette du Village, les numéros de mars et avril 1877.

Iron journal *of science, metals et manufacture*, les numéros de juin 1877.

Institution of civil Engineers, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1876.

Institution of Mechanical Engineers, les numéros du premier trimestre 1877 de son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, les numéros de leurs *Transactions*.

Journal d'Agriculture pratique, les numéros de juillet et août 1877.

Journal des Chemins de fer, les numéros de juillet et août 1877.

Journal de l'Éclairage au gaz, les numéros de juillet et août 1877.

Houille (*La*) (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Digitized by Google

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, les numéros de mars et avril 1877.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

Mondes (*Les*) (revue), les numéros de juillet et août 1877.

Moniteur des chemins de fer (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Moniteur industriel belge, les numéros de juillet et août 1877.

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture, les numéros de mai et juin 1877.

Moniteur des travaux publics (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Of the American Society of Civils Engineers Journal, les numéro de juillet et août 1877.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (journal), le numéro 3 de 1877.

Portefeuille économique des machines, les numéros de juillet et 1877.

Réforme économique, les numéros de juillet et août 1877.

Revue métallurgique (*La*), les numéros de mai et juin 1877.

Revue maritime et coloniale, le numéro de mars 1877.

Revue d'architecture, les numéros 5 et 6 de l'année 1877.

Revista de obras publicas, les numéros de mai et juin 1877.

Revue des Deux-Mondes, les numéros de juillet et août 1877.

Revue horticole, les numéros de juillet et août 1877.

Revue universelle des mines et de la métallurgie, le numéro de février 1877.

Semaine des constructeurs (journal *La*), les numéros de mars et avril 1877.

Semaine financière (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Société de Physique, le numéro de son bulletin du troisième trimestre de l'année 1877.

Société des Ingénieurs anglais, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1876 et 1877.

Digitized by Google

Société industrielle de Reims, les numéros de son bulletin du deuxième trimestre 1877.

Société industrielle de Mulhouse, les numéros de mars et avril 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, les numéros du troisième trimestre de 1877 de leur *Revue périodique*.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, le numéro du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société d'encouragement, les numéros de juillet et août 1877 de son bulletin.

Société de géographie, les numéros de août et juillet 1877 de son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, le numéro du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, le deuxième numéro de son bulletin de 1877.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, les numéros de son bulletin de mai et juin 1877.

Société scientifique industrielle de Marseille, le numéro du deuxième trimestre de 1877 de son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, les numéros 5 et 6 de 1877 de son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, le premier numéro de 1877 de son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, le tome XXVII de la quatrième série de son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin du deuxième trimestre de 1877.

Société industrielle de Rouen, le numéro du deuxième trimestre de l'année 1877 de son bulletin.

Digitized by Google

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, le troisième numéro de son bulletin.

Sucrerie indigène (La), par M. Tardieu, les numéros de mai et juin 1877.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, les numéros 3 et 4 de son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, le numéro du deuxième trimestre de 1877 de son bulletin.

The Engineer (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de juillet :

MM. Gazan, présenté par MM. Carimantrand, Love et Rozycki.
Laboriette (de), présenté par MM. Fonbonne, Loustau et Wissocq.
Maury, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Quéruel.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IVe BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

Séance du 6 Juillet 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. QUÉRUEL fait remarquer que le procès-verbal de la séance du 15 juin ne contient pas la mention du nombre des votants pour et contre la proposition qui était soumise à l'assemblée; il pense que ce renseignement aurait été intéressant à connaître pour ceux de nos collègues qui n'assistaient pas à la séance.

M. LE PRÉSIDENT répond que le vote a lieu de deux manières : par assis et levé, ou par scrutin s'il est réclamé par six membres au moins, c'est seulement dans ce dernier cas que le nombre des votants pour et contre est constaté.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est adopté.

M. QUÉRUEL demande à M. le Président si la question de la modification des statuts sera prochainement mise à l'ordre du jour.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'aucune question ne peut être introduite en séance d'une manière incidente et il engage M. Quéruel à suivre la voie indiquée par le règlement à ce sujet.

M. MALDANT, reprenant la demande de M. Quéruel, dit qu'il a suivi la marche indiquée par le règlement pour savoir où en était la question, et qu'il ne lui a pas été fait de réponse aux lettres qu'il a adressées au Président à ce sujet.

M. LE PRÉSIDENT fait observer à M. Maldant qu'il a répondu à sa première lettre, mais qu'il n'a pas le temps de s'engager dans une polémique indéfinie.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre de M. le Président

Digitized by Google

de la Chambre de commerce de Paris, lui faisant part du programme relatif au prix de *cent mille francs* que le Conseil général de la Guadeloupe a décidé d'attribuer à l'inventeur d'un nouveau procédé d'extraction du jus de la canne ou de la fabrication du sucre.

Ce programme est déposé au siége de la Société à la disposition des membres que cette question intéresse.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Gottschalk qui, tout en remerciant la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en lui décernant la médaille d'or pour son mémoire sur le *Service du matériel et de la traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche*, demande la permission d'en reporter la plus grande partie à notre collègue M. Desgrange qui est le véritable promoteur de ce travail.

M. Régnard écrit pour demander une rectification au procès-verbal de la séance du 20 avril dernier au sujet d'une communication qu'il a faite sur un système de tampons obturateurs creux. C'est par erreur qu'il a dit que ces tampons étaient employés à Fives, sur le chemin de fer du Nord; quelques spécimens avaient été présentés à la Compagnie du Nord, mais ils n'ont pas été adoptés.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Poillon, relative à sa théorie des pompes centrifuges simples. Sur la demande de M. Poillon, la discussion est renvoyée à une autre séance.

M. Leroide donne communication de sa note sur le procédé de préparation des bois par le système John Blythe.

Chaque année il devient plus difficile d'approvisionner les Compagnies de chemins de fer et l'industrie de bois de traverse et de bois de constructions. Il faut subvenir à un minimum d'au moins 1,500,000 traverses pour l'entretien des voies sur les chemins français; et, ce chiffre grandira considérablement avec l'âge des voies et le développement des réseaux. Tout procédé de conservation des bois destiné à prolonger leur existence et à améliorer leurs qualités mérite donc d'être signalé à l'attention des Ingénieurs afin de les engager à en examiner la valeur et à en essayer l'emploi.

Le procédé de M. Blythe est nommé thermo-carbonisation, parce que, la chaleur développant des vapeurs d'eau carburées produit la préparation des bois qui se saturent d'acide phénique par le moyen de l'élévation de la température et de la pression qui correspond à celle-ci.

M. Blythe a fait un nombre infini de préparations de bois par les procédés du sulfate de cuivre et de la créosote à ses chantiers de Bordeaux et de Creil, dans plusieurs grandes Compagnies françaises, en Belgique et actuellement dans un chantier d'exploitation de son procédé, à Vienne (Autriche). Tout le réseau nord-ouest autrichien emploie les traverses de chêne préparées avec 3 kilogrammes de créosote.

Dans les diverses préparations au sulfate de cuivre les plus en usage, tant

Digitized by Google

sur les bois frais abattus (procédé Boucherie), que par les procédés en vase clos, dans lesquels le sulfate est introduit après vide, par pression sur des traverses asséchées, le sulfate se substitue à la séve dans le premier cas, et s'unit à la partie albumineuse de celle-ci, dans les autres.

L'aubier seul se trouve injecté, souvent en excès; et, dans certains cas particuliers, tranchées calcaires, parties humides, l'oxyde de fer des rails ou coussinets agit sur la traverse et la détruit très-rapidement et surtout aux points d'attache.

Les Compagnies de l'Ouest, de l'Est, de Paris-Lyon-Méditerranée, n'emploient plus les préparations au sulfate de cuivre; elles sont restées en usage aux Compagnies d'Orléans et du Midi pour les traverses de pins des Landes et du Nord.

La carbonisation superficielle des traverses, qui les fendait et détruisait la surface du bois, pratiquée à la Compagnie d'Orléans, vient d'être abandonnée comme défectueuse.

Les préparations à la créosote qui ont, à part des cas bien particuliers, donné les meilleurs résultats, n'ont été reconnues efficaces qu'autant que l'injection de la matière antiseptique a été complète, ce qui nécessite l'emploi de 20 à 25 kilogrammes d'huile lourde et la dessication des traverses pendant 7 à 8 mois ou bien l'étuvage.

Ce procédé long et coûteux est appliqué en France sur les traverses de hêtre, par les Compagnies de l'Ouest, de l'Est, de Lyon; en Europe, pour les demi-rondes pin et sapin et pour l'aubier de chêne.

Ainsi, on emploie donc 25 kilogrammes d'une matière volatile et contenant 5 à 10 pour 100 d'acide phénique (antiseptique puissant), quand on n'emploie que 500 grammes de sulfate de cuivre ne contenant pas plus de 100 grammes cuivre, pour le même objet; mais on peut disséminer facilement le cuivre dans les pores d'une traverse, et cette opération exige de grandes quantités d'huile lourde actuellement.

La vapeur de la créosote ne se développant qu'à 300 degrés, son emploi devenait impossible.

En 1870, M. Blythe a pensé à disséminer la créosote réchauffée dans un jet de vapeur à 4 ou 6 kilogrammes de tension, venant barboter à la surface inférieure de celle-ci, et à saturer de cette vapeur carburée les bois en vase clos.

Il a pénétré complétement les cœurs de chênes, de pins des Landes, de hêtres rouges, et a pu faire cette pénétration, jusque-là impossible, avec des huiles lourdes, du coaltar, des goudrons végétaux, de l'acide phénique du commerce.

Il emploie plus généralement 2 à 3 kilogrammes de créosote par grande traverse, et 2 kilogrammes d'acide phénique brun par mètre cube de bois de choix ou de traverses, mélangés avec 150 litres d'eau environ par mètre. La réussite de l'opération dépend toujours de la juste proportion d'acide phénique.

L'appareil ordinaire servant à préparer les traverses se démonte, se

Digitized by Google

transporte facilement dans les chantiers d'approvisionnement, il se compose de :

Une chaudière à haute pression, sur roues, de 15 à 20 chevaux, donnant par une seule prise de la vapeur à 6 kilogrammes;

Une petite chaudière horizontale, sur roues, avec foyer ordinaire, contenant la créosote et l'eau, nommée bouilleur;

Une cuve contenant la créosote à envoyer, suivant besoin, dans le bouilleur, avec une pompe.

Trois cylindres en tôle, nommés fours, contenant le bois à préparer, surmontés de dômes avec soupapes de sûreté, ayant une enveloppe tôle, et pouvant résister à la pression de 6 kilogrammes. Ils sont mis en communication avec deux longs cylindres inférieurs, qui leur sont perpendiculaires, — d'un moindre diamètre, résistant à 3 kilogrammes et nommés condenseurs.

La tuyauterie forme neuf groupes destinés :

1° A conduire la vapeur d'eau dans le fond du bouilleur; puis la vapeur d'eau et les vapeurs carburées dans l'axe des fours au moyen d'un dispositif particulier, par lequel la vapeur se précipite d'un ajutage entouré du tuyau servant aux vapeurs combinées;

2° A mettre en communication le dessous des fours avec le bouilleur;

3° — les dômes des fours entre eux, avec l'atmosphère et avec les condenseurs;

4° — les condenseurs avec la chaudière.

La préparation s'accomplit ainsi, — ayant isolé complétement le premier four : — on ouvre simultanément l'arrivée de vapeur d'eau et des vapeurs carburées par le centre du four (il faut se rappeler que la créosote ou autre matière désignée ci-dessus est disséminée intimement, mais non vaporisée, au milieu de la vapeur d'eau). Les vapeurs carburées, entraînées par la vapeur d'eau, attaquent vivement et pénètrent le bois par toute sa surface; l'opération est commencée.

On ouvre les communications du four, du bouilleur et des condenseurs. Il s'établit une circulation continue des vapeurs ayant agi, et d'une partie de la séve condensée.

La pression s'élève de 4 à 6 kilogrammes dans le four, une demi-heure après environ; elle y est maintenue à peu près le même temps. Le bois alors se trouve complétement et suffisamment préparé pour la préservation des traverses, bois de construction, etc.; l'albumine restant dans le bois est coagulée, l'acide phénique se trouve combiné.

L'opération du four suivant s'entame, en le faisant communiquer avec le four préparé pour équilibrer les pressions, et après l'isolement de ce dernier, en procédant comme ci-dessus.

Bien que la préparation ci-dessus soit la principale, on peut donner un supplément de préparation dans le cas des traverses, par exemple. Dans ce cas, on met, soit le dôme du second four, soit la chaudière en communication avec les condenseurs contenant de la créosote, etc., et de l'eau

Digitized by Google

avec parties des produits de la condensation; ce liquide pressé par 3 à 6 kilogrammes de pression monte et baigne complétement les bois amollis; il peut en pénétrer les surfaces et les aubiers, jusqu'à introduire 20 kilogrammes de matières. L'appareil en question peut préparer 500 traverses quelconques par jour. Les bois sortent très-attendris, peuvent supporter des pressions, des moulages simples, des courbures. Ils durcissent rapidement et peuvent s'employer, pour la voie, quelques heures après leur sortie du four.

Lorsqu'on emploie la juste quantité d'huile lourde, etc., pouvant entrer en combinaison avec les composés du bois, ceux-ci ne sont pas profondément changés d'aspect et de teintes. Le bois devient plus dense, les pores sont plus serrés; il est plus gras à scier et se polit plus facilement.

Il se passe une contraction molléculaire dans le temps qui suit l'opération; mais, au bout de peu de semaines, les bois ne jouent plus sous l'influence de la température, et les pièces de bois durcissent à l'air et deviennent inattaquables à l'humidité. Les fibres sont plus résistantes dans les épreuves à la torsion, et les épreuves à l'arrachement indiquent une augmentation sensible.

Jusqu'à présent, aucun réactif n'indique assez sensiblement la présence de l'acide phénique dans le bois; du reste, celle-ci paraît combinée chimiquement.

En prolongeant les opérations on peut donner au bois des teintes foncées et uniformes de façon à l'embellir et à assurer sa préservation; mais celle-ci, pas plus complétement qu'en limitant l'opération au terme indiqué par la préparation des traverses.

Le prix de revient d'une traverse de grande Compagnie (cubant $0^{m}.085$), comportant l'emploi de 2 kilogrammes de créosote, est de $0^{f}.60$, en comptant 0.08 à 0.10 en plus par kilogramme de matière, suivant les lieux d'emplois.

Comparée aux autres procédés, la préparation actuelle assure la préparation complète de tous les bois (chêne, hêtre, pins, etc.) avec un corps antiseptique par excellence, l'acide phénique, qui, ayant une plus grande affinité avec les composés du bois, se combine chimiquement avec ceux-ci.

Les qualités du bois, force des fibres, résistance à l'arrachement, sont augmentées.

L'opération pouvant s'accomplir sur des bois frais coupés, au besoin, est plus rapide que dans tout autre procédé.

Le moyen supplémentaire de préserver les aubiers par un bain à pression variable existe comme dans les autres procédés, et cela dans des conditions meilleures et avec moins de quantités de matières.

Les bois préparés peuvent s'employer daus la construction peu de mois après la préparation, qui peut suivre la coupe en forêts.

Le prix de préparation, fixé à ($0^{f}.60$) pour 2 kil., devient moins élevé que la préparation en vase clos au sulfate de cuivre ($0^{f}.80$ environ), et surtout inférieure à l'emploi ordinaire de la créosote, qui ne peut s'évaluer à moins

Digitized by Google

de 1f.50 la traverse; la carbonisation était d'un prix inférieur (0f.30 la traverse environ).

Ce procédé peut préparer avantageusement les bois de traverses, de construction, de wagons, etc... L'emploi du hêtre peut se faire dans les bordages de navires.

Le pin des Landes et du Nord peut se comprimer et servir au pavage; enfin, les bois de hêtres, chênes, etc., convenablement teintés, peuvent faire des meubles (en plein) et ne jouant pas, après que l'odeur de préparation est suffisamment passée.

M. Quéruel demande si les bois préparés par le procédé qui vient d'être décrit ne sont pas d'une extrême combustibilité qui leur enlèverait une partie de leurs applications.

M. Leroide répond que ces bois sont en effet plus combustibles que ceux préparés au sulfate de cuivre, par exemple, mais qu'ils le sont moins que ceux préparés à la créosote par les procédés antérieurs à celui de M. Blythe.

M. Arson émet des doutes sur la possibilité d'employer des bois créosotés par un système quelconque, à la fabrication des meubles et des parquets, à cause de l'odeur insupportable qui s'en dégage quand la température de l'air est un peu élevée.

M. Arson demande quelques explications sur la manière dont fonctionne l'appareil de M. Blythe; il désirerait notamment savoir comment la séve, ou l'air qui l'a déjà pu remplacer en partie, sont expulsés des vaisseaux du bois, pour permettre au fluide antiseptique d'y pénétrer.

M. Gillot dit que l'eau de la séve est vaporisée au commencement de l'opération par la vapeur qui y est introduite dans l'appareil à la pression de 4 à 6 kilogrammes par centimètre carré, et que par conséquent la pénétration par la créosote peut se faire facilement.

M. le Président remercie M. Leroide de son intéressante communication.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Bandérali sur l'application de l'électricité à la manœuvre des freins continus dans les trains en marche.

M. Vidard demande à poser les questions suivantes :

1° L'éjecteur qui produit un vide relatif pour faire agir le frein continu est-il placé dans la cheminée de la locomotive? si oui, ne gêne-t-il pas le fonctionnement de l'échappement, n'occasionne-t-il pas un tirage excessif et par suite une plus grande consommation de combustible?

2° L'appareil de jonction des tuyaux d'aspiration d'air est-il facile à atteler, l'entretien n'en est-il pas coûteux et les rentrées d'air ou les fuites sont-elles fréquentes et l'action des freins retardée ou diminuée?

3° Peut-on introduire dans le train, des véhicules non munis de frein continu? Dans ce cas, comment opère-t-on la liaison nécessaire entre tous les freins? Peut-on appliquer les freins continus dans les trains mixtes,

Digitized by Google

composés en partie de voitures à voyageurs et en partie de wagons de marchandises?

Mêmes questions pour le frein continu de M. Westinghousse. Quel est de ces deux systèmes le plus prompt à fonctionner?

Pour le frein électrique de M. Achard, les piles employées donnent-elles toute sécurité pour un fonctionnement régulier de l'appareil pour tous les temps et quelle que soit la position des véhicules sur la voie?

M. Bandérali dit que les questions posées par M. Vidard sont en dehors du sujet traité dans sa communication qui avait uniquement pour but d'appeler l'attention sur l'application de l'électricité à la manœuvre des freins continus, et non pas pour objet l'étude des freins continus en eux-mêmes.

Cette dernière question paraît à M. Bandérali trop importante pour qu'elle puisse être traitée incidemment, et il demande à ne pas ouvrir la discussion sur ce sujet, en ce moment, se réservant d'en faire l'objet d'une communication à la Société aussitôt que les expériences en cours seront terminées.

Toutefois, pour ne pas laisser sans réponse les diverses questions de M. Vidard, M. Bandérali se bornera à y répondre aujourd'hui en quelques mots :

1° L'éjecteur organe moteur des freins à raréfaction d'air peut se placer en un point quelconque de la machine, aussi bien près du dôme de vapeur que dans l'intérieur de la cheminée; dans ce dernier cas on peut facilement le loger sans nuire en quoi que ce soit au tirage. Du reste, l'éjecteur ne fonctionnant que pendant le temps nécessaire pour produire la raréfaction de l'air dans le tuyau qui aboutit aux appareils placés sous chaque véhicule, c'est-à-dire, pendant un petit nombre de secondes, le tirage ne peut être influencé d'une manière sensible, et par conséquent il ne peut s'en suivre une augmentation de consommation de combustible.

2° La jonction des extrémités des tuyaux appartenant à deux voitures consécutives se fait avec des appareils très-simples et parfaitement étanches; d'ailleurs, une rentrée d'air, même d'une certaine importance, ne peut avoir d'autre inconvénient que d'augmenter le temps pendant lequel fonctionne l'éjecteur sans compromettre pour cela la manœuvre des freins, au point de paralyser leur action.

3° Quand on est amené à intercaler dans un train, dont toutes les voitures sont munies de freins, un véhicule qui n'en possède pas, on peut placer sous ce dernier un tuyau dont les extrémités viennent se raccorder avec celles des voitures d'avant et d'arrière.

4° Quant au fonctionnement des piles pour les freins électriques et à leur régularité, M. Achard cherche à améliorer tous les jours cet organe essentiel de son système.

M. le Président prend acte de la promesse faite par M. Bandérali de faire à la Société une communication sur les freins continus.

M. Lencauchez donne ensuite communication de sa note sur la métallurgie du zinc.

Digitized by Google

Séance du 20 Juillet 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. MALDANT se plaint que le procès-verbal de la séance du 6 juillet ne relate pas complétement la discussion de la question qu'il a soulevée et qu'il avait rédigée ultérieurement dans une note écrite. Il demande que cette note soit lue et insérée, et il propose de nouveau le rappel aux articles 54, 55, 56, 57 du règlement.

M. LE PRÉSIDENT répond que le procès-verbal est rédigé par le secrétaire et soumis au Président. La note écrite de M. Maldant contenait des allégations non produites en séance, et on n'a pas cru devoir la reproduire. Lecture est donnée des articles 54, 55, 56 et 57 du règlement. Ces articles se réfèrent aux communications et aux propositions techniques faites à la Société et non aux modifications à faire aux statuts.

Après ces observations, le procès-verbal de la séance du 6 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Frédéric-Thomas Lemonon et Saint-Just Dru.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le conseil d'administration de l'École Monge a décidé d'ouvrir un concours pour l'obtention de bourses dans la division préparatoire aux écoles du gouvernement.

Les élèves qui voudront prendre part à ces concours devront se faire inscrire à l'École Monge, boulevard Malesherbes, 145, à la direction des études de l'école préparatoire.

Pour le premier concours, au plus tard le 7 août.

Pour le second concours, au plus tard le 1er octobre.

Ils devront présenter, en s'inscrivant, un certificat témoignant d'une excellente conduite dans l'établissement auquel ils ont appartenu pendant l'année scolaire 1876-1877.

ÉPREUVES DU CONCOURS.

Le premier jour, à 8 heures du matin : Composition écrite portant sur les programmes de la classe qu'a suivie le candidat pendant l'année scolaire écoulée.

Le deuxième jour, à 8 heures du matin : Examen oral portant sur les mêmes programmes.

1° Au premier concours, ne pourront prendre part que des élèves devant entrer :

Digitized by Google

(*a*) En mathématiques élémentaires, première année,

(*b*) Ou en mathématiques élémentaires, seconde année [1],

ou en sortant d'une classe de mathématiques élémentaires pour entrer :

(*c*) En mathématiques spéciales, classe préparatoire à l'École centrale,

(*d*) En mathématiques spéciales, classe préparatoire à l'École polytechnique [2].

Une bourse d'interne sera attribuée, dans chacune des divisions précédentes, à l'élève classé premier à la suite des épreuves du concours; une bourse de demi-pensionnaire sera attribuée à l'élève classé second, si toutefois les épreuves sont jugées suffisantes.

(*e*) 2° Au deuxième concours, ne pourront prendre part que les élèves ayant fait antérieurement une année de mathématiques spéciales et se destinant à l'École polytechnique [2].

Une bourse d'interne sera attribuée à l'élève classé premier à la suite des épreuves de concours; une bourse de demi-pensionnaire sera attribuée à l'élève classé second, si toutefois les épreuves sont jugées suffisantes.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Fontaine sur l'éclairage des ateliers par l'électricité.

M. Fontaine s'est proposé de donner à la Société quelques détails sur les applications qu'on peut faire actuellement de l'électricité à l'éclairage industriel, et, comme c'est la machine Gramme qui est presque exclusivement employée à cet usage, il commencera par la décrire et en expliquer le principe.

Faraday a le premier remarqué que, lorsqu'on approche une spire de cuivre d'un barreau aimanté, il se développe dans la spire un courant électrique d'un certain sens, lequel courant devient nul si le mouvement réciproque de la spire et de l'aimant cesse, et change de sens si on éloigne la spire de l'aimant. Il a également remarqué que le sens du courant dépend aussi de la direction de la spire, qu'il est direct, par exemple, si le pas est à droite et inverse si le pas est à gauche. C'est sur cette simple observation qu'ont été établies les machines de Pixii, de Clarke, de Siemens, de Nollet, de Wild et de Ladd, pour ne citer que les principales, et c'est également sur cette observation que repose l'idée première de la machine de Gramme.

En principe, la machine Gramme se compose d'un anneau en fer doux, garni d'une série de spires de cuivre isolées, sans fin, et placé entre les deux pôles d'un aimant quelconque. Les courants peuvent être recueillis par deux petites brosses métalliques sur l'anneau même, dénudé extérieurement, ou sur une pièce spéciale disposée à cet effet. Dans l'un et l'autre cas, les brosses sont placées en face l'une de l'autre et sur une ligne perpendiculaire aux pôles de l'aimant.

1. Ne seront admis au concours dans la division (*b*) que les candidats qui justifieront du grade de bachelier ès lettres, première partie, ou de bachelier ès sciences.

2. Ne seront admis au concours dans les divisions (*d e*) que les candidats qui justifieront du grade de bachelier ès sciences.

Digitized by Google

Au repos, l'anneau de fer se trouve magnétisé par l'influence de l'aimant fixe, et il se forme en lui et en regard des pôles dudit aimant des pôles de noms contraires aux premiers. Lorsqu'on fait tourner l'anneau, l'aimant restant fixe, les pôles de cet anneau sont immobiles dans l'espace, mais ils se déplacent dans le fer lui-même avec une vitesse égale et de direction opposée à celle de l'anneau. Pendant ce mouvement, il se produit dans les spires de cuivre un courant électrique, car les choses se passent exactement comme si, le fer doux restant fixe dans l'espace, les fils de cuivre s'avançaient continuellement devant ses pôles.

Les pôles de l'aimant fixe, dont la puissance magnétique croît par la réaction de ceux de l'anneau en fer, développent également un courant dans le fil de cuivre. Ce courant serait très-faible sans la présence de l'anneau de fer, car les spires se présentant devant l'aimant sous deux directions opposées, il naîtrait un courant d'un sens dans les parties extérieures des spires et un courant de sens inverse dans les parties intérieures, ce dernier annulant en grande partie le premier. L'anneau de fer, magnétisé par influence, ne se borne donc pas à créer un courant électrique, il excite encore la puissance des aimants fixes en rétrécissant leur champ d'action, et sert en outre d'écran magnétique pour empêcher l'influence de l'aimant fixe sur les parties intérieures des spires de cuivre.

La différence capitale existant entre la machine Gramme et toutes celles qui l'ont précédée, c'est qu'elle produit des courants continus, tandis que les autres produisaient des courants alternatifs.

La machine présentée à la Société et qui sert à produire la lumière possède, au lieu d'un aimant permanent, un électro-aimant à pôles conséquents, intercalé dans le circuit électrique fourni par la bobine. Le magnétisme terrestre agit suffisamment sur cet appareil pour y faire naître une légère aimantation, et cela dès que la machine est montée, avant même que la bobine ait été mise en mouvement pour la première fois.

Quand la bobine commence à tourner, l'aimantation des pôles de l'électro aimant, quelque faible qu'elle soit au début, influence le fer doux, et il circule un courant électrique dans les spires de cuivre garnissant l'anneau. Ce petit courant, circulant également dans les fils des électro-aimants, en augmente la puissance magnétique; ceux-ci réagissent sur le fer doux et sur les spires elles-mêmes. Le courant devient plus grand. De réaction en réaction, en quelques secondes seulement, la machine atteint son maximum de puissance.

Ce phénomène, comme on le voit, n'est autre chose que la transformation directe, sans aimant permanent, du travail en électricité.

La priorité de cette conception, l'une des plus merveilleuses de la physique moderne, appartient à un savant anglais, M. Varley, qui a pris une patente provisoire le 24 décembre 1866. Peu de semaines après, le docteur Verner Siemens en Prusse, l'illustre Wheatstone en Angleterre, et M. Gramme en France, émettaient également l'idée de mettre les électro-aimants dans les circuits d'induction.

Digitized by Google

Chacun sait que, lorsqu'on fait toucher deux pointes de charbons mis préalablement en communication avec une forte pile électrique et qu'on les éloigne lentement ensuite, il jaillit entre eux un foyer éblouissant, auquel on a donné le nom d'*arc voltaïque*. Ce qu'on sait généralement moins, c'est que cet arc lumineux résulte de l'incandescence d'un jet de particules détachées des charbons et projetées dans toutes les directions, mais principalement de l'électrode positive à l'électrode négative. Le charbon en communication avec le pôle positif de la pile atteint une température beaucoup plus élevée et s'use deux fois plus vite que le charbon qui se trouve en communication avec le pôle négatif.

On utilise, le plus souvent, pour produire la lumière, des charbons provenant des dépôts de cornues à gaz, et, pour leur conserver un écart constant, on se sert de régulateurs spéciaux, dont les plus connus sont ceux de MM. Foucault-Dubosq, Serrin et Carré.

Le principe de ces régulateurs est ingénieux; il a été trouvé simultanément, pendant l'année 1848, en France par Foucault et en Angleterre par Staite et Pétrie. En quelques mots, voici l'idée : avant d'arriver aux charbons, le courant passe par un électro-aimant muni d'une armature mobile; lorsque les charbons sont à une distance convenable l'un de l'autre, le courant est assez puissant pour que le petit électro-aimant attire son armature; mais dès que les pointes des charbons sont trop éloignées, le courant diminue, l'armature, sollicitée par un ressort, s'écarte de l'électro-aimant et laisse tourner un rouage qui rapproche les charbons, jusqu'à ce que l'armature soit de nouveau attirée par son électro-aimant et embraye le rouage.

La petite machine mise sous les yeux de la Société, malgré ses dimensions restreintes (longueur $0^m,60$, largeur $0^m,35$, hauteur $0^m,60$, volume 1/8 de mètre cube, poids 180 kil.), peut développer un courant électrique assez intense pour fournir une lumière de 500 becs Carcel, et cela avec 4 kil. de fil seulement sur l'anneau. C'est le type normal pour les ateliers et les chantiers. Il exige environ deux chevaux et demi de force. Son prix est de 1,500 fr. Il a déjà reçu 303 applications.

La plus grande partie de ces applications ont été faites sous la direction de M. Fontaine; il possède en conséquence des données précises sur l'emploi industriel qu'on peut faire aujourd'hui de la lumière électrique, et il résume ces données, qui forment l'objet principal de sa communication.

Pour la question d'économie comparativement au gaz, il se contente de signaler un seul fait. Avec une machine à gaz Otto, dépensant 3 mètres cubes de gaz à l'heure et actionnant un de leurs appareils, les inventeurs sont parvenus récemment à produire un foyer lumineux équivalent à 500 becs de gaz dépensant 140 litres à l'heure, c'est-à-dire qu'avec 3 mètres cubes de gaz et le concours d'une machine Gramme, ils ont obtenu une lumière égale à celle de 70 mètres cubes de gaz brûlant dans les becs ordinaires. Le rapport est de 1 à 23.

M. Fontaine se hâte de dire que le foyer dont il parle était indivisible et

Digitized by Google

par suite inapplicable dans la plus grande partie des cas. Il a cité ce fait, non pour montrer la supériorité de l'éclairage à l'électricité sur l'éclairage au gaz, mais simplement pour fixer les idées sur la question économique dégagée de toutes considérations de frais de premier établissement. Il est également inutile d'ajouter que le travail résultant de l'emploi d'un moteur à gaz est beaucoup plus cher que celui obtenu par un moteur à vapeur.

Voici un résumé des principales applications de la machine Gramme.

M. Menier emploie, pour ses établissements de Noisiel, Roye et Grenelle, 14 machines; la fonderie de canons de Bourges en a 11; les ateliers des forges et chantiers de la Méditerranée, au Havre, 7; la maison Ducommun, à Mulhouse, 4; MM. Sautter, Lemonnier et Compagnie, à Paris, 3; les marines française, russe, espagnole et autrichienne, 19, etc.

Il faut encore citer la Compagnie des chemins de fer du Nord, à La Chapelle; la filature de M. Dieu, à Daours; le port du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize; les travaux de l'avant-port du Havre; les usines de MM. Mignon, Rouart et Delmières, à Montluçon; les ateliers de constructions de l'État, à Tarbes; ceux de Cail, de Fives-Lille, de M. Quillacq, à Anzin, de la Société mécanique de Pantin, de MM. Crespin et Marteau, à Paris, de M. Beaudet, à Argenteuil; les forges de Bességes, de Fumel et de Fourchambault; les teintureries de MM. Hannart de Wasquehal et de MM. Guaydet, à Roubaix, etc. Partout on est satisfait de l'éclairage électrique.

La quantité de machines à employer dépend de la nature du travail effectué et de la disposition des locaux. Pour un atelier d'ajustage, de tours, de modelage, etc., un seul appareil éclaire suffisamment 500 mètres carrés; pour un tissage, une filature, une imprimerie, il faut un appareil pour chaque 350 mètres carrés; enfin, dans un chantier de travaux publics, un seul foyer électrique permet de travailler sur un rayon de 100 mètres, ce qui correspond à une superficie de plus de 30,000 mètres carrés.

Dans les expériences que les membres de la Société ont pu voir au Palais de l'industrie, 12 lampes, placées en deux foyers, éclairaient un espace de 12,000 mètres carrés et un volume de 320,000 mètres cubes.

L'électricité n'est pas applicable lorsque les locaux ont moins de 4 mètres de hauteur ou qu'ils renferment trop d'obstacles s'opposant à la diffusion de la lumière; elle s'accommode mal de réflecteurs et fatigue la vue si elle est trop près des personnes. On n'en saurait conseiller l'emploi pour le service des voies publiques, des gares de voyageurs, des salles d'attente, etc., vu le peu de lumière nécessaire par mètre carré. Dans les gares de chemin de fer, par exemple, où l'on arrive toujours un peu endormi, une lumière intense fatiguerait les voyageurs et les agents, les mécaniciens surtout, sans grand avantage pour le service. Pour les maisons d'habitation, il ne faut même pas y songer; le gaz y règne sans conteste et y régnera très-probablement longtemps encore.

Dans les ateliers, les usines, les manufactures, les quais de manutention, etc., partout où l'on travaille activement, c'est autre chose; l'électri-

Digitized by Google

cité y a sa place marquée, quand même elle reviendrait à un prix plus élevé que les moyens employés aujourd'hui.

Dans ce cas, l'économie, dans l'éclairage proprement dit, n'est pas la seule chose à considérer. La lumière électrique facilite beaucoup la surveillance des ouvriers et des machines, augmente la production du travail, et permet d'exécuter, la nuit comme en plein jour, certains travaux de précision, certaines manœuvres d'ensemble.

Le prix d'un appareil complet, machine, lampe, fils, transport, revient environ à 2,200 fr., en France et dans les pays limitrophes. Les crayons brûlés dans la lampe coûtent au maximum 0f,20 par heure. Si donc on a un moteur sur lequel on peut prendre la force motrice, la dépense réelle est d'environ 0f,20 pour le charbon supplémentaire du moteur, plus 0f,20 de crayons de cornues, soit en tout 0f,40. En admettant 500 heures de veillées par an et un amortissement de 50 pour 100 sur les dépenses de premier établissement, on arrive à une dépense totale de 0f,85 par heure, tout compris.

Le prix du gaz est très-variable; il coûte rarement moins de 0f,30 le mètre cube, soit 0f,043 par bec et par heure, et atteint quelquefois presque le double avec l'amortissement des frais d'installation et les dépenses d'entretien.

Il résulte de là qu'avec du gaz à 0f,30, si l'on est assez éclairé, il est inutile d'établir une machine Gramme tant qu'il n'y a pas au moins 20 becs dans une même salle. Si l'on passait toutes les nuits, l'amortissement par heure devenant beaucoup plus faible, on aurait intérêt à mettre une machine électrique dès qu'on aurait au moins 12 becs de gaz dans une même salle.

Mais, il faut le répéter, l'économie de lumière n'est pas la seule chose à considérer. A la gare des marchandises de La Chapelle, où sont établies trois machines Gramme, on a économisé jusqu'à 25 pour 100 sur la main-d'œuvre de manutention. Au port de Sermaize l'économie s'est élevée à 50 pour 100. Au Havre, dans les travaux du nouvel avant-port, on a exécuté des travaux de nuit, qu'il eût été matériellement impossible d'exécuter sans la lumière électrique.

M. Fontaine a eu l'occasion de visiter un grand nombre d'usines en Europe et en Amérique, et il a peu rencontré d'établissements qui soient bien éclairés, peu où une lumière plus intense n'eût donné une surveillance plus efficace, un travail plus considérable, une sécurité plus grande.

En résumé, l'éclairage électrique peut être employé avec avantage dans un grand nombre d'ateliers. Il ne fatigue pas la vue des ouvriers et il permet d'obtenir une grande quantité de lumière ambiante avec une très-faible dépense.

M. Fontaine dit quelques mots pour finir sur l'application de la lumière électrique à bord des navires.

La lumière électrique peut rendre de très-grands services en mer; malheureusement la plupart des accidents arrivent aux voiliers et ceux-ci n'ayant pas de machines à vapeur ne peuvent pas employer les machines

Digitized by Google

électriques. Il a récemment installé à bord du steamer l'*Amérique*, appartenant à la Compagnie générale transatlantique, une machine Gramme alimentant tantôt une lampe à éclat intermittent, placée sur une tourelle à l'avant du bâtiment, tantôt une lampe mobile à feu continu. Les expériences ont pleinement réussi, mais cela n'a pas empêché l'*Amérique* de s'échouer, en décembre dernier, à Seabright. Plusieurs personnes ont écrit à ce sujet et des négociations entamées avec des compagnies maritimes ont été ajournées ou rompues. Cependant M. Pouzolz, qui commandait l'*Amérique*, a ramené son bâtiment au Havre il y a une quinzaine de jours et M. Fontaine a reçu de lui une lettre dont il extrait les lignes suivantes :

« Je dois vous dire que nous avons fait un emploi presque journalier de la lumière électrique sur la plage de Seabright et dans la forme sèche de New-York pour faciliter nos travaux de nuit, renflouement ou réparations et j'estime que cette admirable invention nous a puissamment aidés à mener l'un et l'autre à bonne fin. A mon avis, la machine Gramme est un appareil éprouvé qu'on peut mettre dans les mains de tout le monde. Les plus maladroits en tireront un excellent parti. »

La machine Gramme n'est pas uniquement employée à produire de la lumière, elle est encore employée aux opérations galvanoplastiques et aux décompositions chimiques.

Des essais déjà concluants permettent même d'affirmer que sous peu elle pourra être utilisée pour la transmission des forces à grandes distances. Ce nouvel emploi aura un grand intérêt au point de vue de l'art de l'Ingénieur et M. Fontaine se propose de faire prochainement à la Société une communication spéciale sur ce sujet.

M. Mathieu a remarqué l'affirmation faite par M. Fontaine que la lumière directe ne fatigue pas les ouvriers. Ce fait est contesté et il y aurait grand intérêt à l'élucider, car les écrans absorbent en pure perte 25 p. 100 de la lumière au moins.

M. Fontaine répond que le nombre actuel des installations est considérable et que personne, jusqu'à ce jour, n'a été incommodé par la lumière directe du foyer électrique. Au contraire, dans bien des cas, chez M. Menier notamment, où l'on avait entouré d'abord la lumière de globes diffusants, on les a tous enlevés successivement sans qu'aucun ouvrier s'en soit plaint. Le même fait s'est reproduit en Autriche. On avait voulu cacher la lumière, on a mis des réflecteurs, mais on les a enlevés et on a donné par la suite la lumière directe. Il est vrai qu'au premier abord, l'impression produite sur la rétine par la lumière électrique est très-vive, mais la vue s'y fait promptement. L'expérience, qui date déjà de deux ans et demi, constate que nulle part les ouvriers n'ont été fatigués par la lumière directe et que partout on supprime les globes.

M. Lartigue dit qu'au chemin de fer du Nord, on est loin de vouloir supprimer les globes, dont on se trouve très-bien. — Il faut en effet, suivant lui, dans un chantier de manutention, éviter pour les manœuvres le pas-

Digitized by Google

sage répété de la grande lumière à l'ombre, il vaut mieux une lumière moins vive, mais un éclairage plus également répandu. Or la lumière électrique donne des ombres trop intenses. A la gare de la Chapelle, on est très-satisfait de l'emploi de la machine Gramme, mais à condition de ne pas donner la lumière électrique directe. On s'en sert pour l'éclairage d'une grande salle de 50 mètres de long où se font des manutentions de marchandises. On place la lampe dans une grande lanterne dont on barbouille le verre au blanc de zinc, qui absorbe environ 60 p. 100 de la lumière. On substitue ainsi un grand corps éclairant à l'arc voltaïque. On peut aussi bien, avec cette disposition, éclairer en plein air et jusqu'à 100 mètres de distance, une série de onze plaques tournantes avec un seul foyer.

M. Fontaine ne partage pas l'avis de M. Lartigue. Il oppose à l'expérience faite par la Compagnie du Nord, par elle-même et dans un cas particulier, celle que lui donnent les 300 applications qu'il a dirigées pour l'éclairage dans les ateliers fermés ou en plein air. Nulle part on n'a reconnu la nécessité des écrans. A Sermaize notamment, sur le port du canal de la Marne au Rhin, et au Havre, où les appareils Gramme éclairent les manutentions, comme à la Chapelle, on a été conduit à enlever les globes qui avaient été mis d'abord.

M. Fontaine répète qu'il ne faut pas employer la lumière électrique là où des hommes n'ont qu'à marcher et où on ne pourrait élever suffisamment la lampe; mais partout où un travail s'effectue et où on est libre de la hauteur du point lumineux, il n'hésite pas à conseiller l'emploi de la lumière électrique directe et sans atténuation.

M. Lartigue dit qu'en effet, à la Chapelle, on est dans le cas particulier d'une grande salle fermée dont le plafond fait office de réflecteur et où l'on ne peut pas élever la lampe.

M. Maldant est frappé de ce que sur les navires les veilleurs ont été plus fatigués par la lumière constante que par la lumière intermittente. Suivant lui, ce qui, dans tous les modes d'éclairage, produit la fatigue de la vue, c'est la *variation*, grande ou rapide, de l'intensité lumineuse. Or, toutes les fois que l'œil est affecté par une rapide augmentation de lumière, nous savons que la pupille se contracte jusqu'à devenir un point invisible, si nous fixons une source lumineuse intense, comme la lumière solaire, électrique, etc.; au contraire, lorsque la lumière diminue, la pupille se dilate au point d'occuper presque tout l'iris, lorsque nous essayons de voir dans les ténèbres.

L'*œil* est donc un excellent *régulateur*, dont la pupille travaille constamment à l'inverse des intensités lumineuses; mais c'est un régulateur sensible et délicat, qui se fatigue et s'use en raison du travail qu'on lui impose.

La lumière électrique est loin d'avoir, jusqu'ici, la régularité des autres modes d'éclairage; elle doit donc, logiquement, fatiguer plus qu'eux.

M. Fontaine fait remarquer que M. Maldant confond les causes de la

Digitized by Google

fatigue causée aux officiers de quart, en mer, par la permanence de l'éclairage. Ce n'est pas de la lumière elle-même que les officiers se plaignent, mais de ce que une partie de l'horizon étant très-éclairée, ils ne peuvent plus voir au loin sur la mer dans les autres directions. En ne prolongeant l'émission de l'électricité que cinq secondes par minute, l'impression sur la rétine est assez fugitive pour qu'ils puissent regarder sans fatigue les points moins éclairés de l'horizon. A une question posée par M. de Bruignac, M. Fontaine répond que, sur les navires, la lampe était placée tout à fait à l'avant et que la lumière ne portait nullement sur le pont ou sur les mâts, mais seulement sur la mer.

Quant à l'objection de M. Maldant, que l'intensité de la lumière électrique fatigue la vue, elle n'est pas fondée, c'est l'expérience qui le prouve, car il y a trois ans, personne, on peut le dire, ne connaissait les effets de cette lumière. En fait, plus on voit clair pour faire un travail, moins on est fatigué.

M. Loiseau confirme que, quand un ouvrier, dans un atelier mécanique, ne perçoit que la lueur donnée par la lumière électrique sur l'objet éclairé, sa vue n'éprouve aucune fatigue. Ce qui fatigue, c'est de regarder la lumière elle-même. Quand on est placé pour ne pas l'apercevoir, on peut travailler et même lire sans fatigue.

M. Régnard est, comme M. Fontaine, d'avis que la vue se fatigue moins avec trop de lumière qu'avec trop peu.

M. Hamers pense que dans les locaux livrés à la circulation publique, tels que les gares à voyageurs, on fera bien de maintenir l'emploi de verres peints ou dépolis autour des foyers de lumière électrique, malgré l'importante perte de pouvoir éclairant qui en résulte. Mais dans la plupart des ateliers, — notamment dans ceux où les ouvriers n'ont guère à changer de place —, il n'y a pas lieu de s'astreindre à cette perte de lumière.

En effet :

L'inconvénient principal que l'on reproche encore à la lumière électrique employée sans voile, résulte précisément de sa qualité, c'est-à-dire de son intensité; elle *éblouit* trop, disent ses détracteurs, et l'on ne peut en supporter la vue. Or, il ne faut pas oublier que les foyers de lumière artificielle—, de même que le soleil,— ne sont nullement créés pour être regardés. Partant de ce principe, on prévient fort bien le prétendu inconvénient rappelé ci-dessus, en plaçant l'appareil d'éclairage au-dessus ou du moins en dehors des directions imposées aux regards des ouvriers par leur travail. Cela fait, il reste à avoir soin de ne pas porter les yeux vers la lampe électrique, précaution à laquelle les ouvriers s'habituent vite et facilement.

M. Lartigue insiste sur ce que les ombres projetées sont fatiguantes par leur opposition fréquente avec la lumière, lorsqu'il y a mouvement ou va-et-vient et que, dans beaucoup de cas particuliers, il vaut mieux perdre de l'intensité de la lumière que de créer des ombres trop fortes.

M. Mardelet fait observer que, si l'éclairage électrique produit des

Digitized by Google

ombres portées gênantes et laisse obscurs certains points de l'atelier ou de la halle, muni de cet éclairage, en un mot donne lieu à des transitions trop brusques d'ombres et de lumière, cela tient à la concentration du foyer lumineux en un seul point. Cet inconvénient n'existe plus avec l'éclairage électrique réalisé d'après le procédé tout récemment imaginé par M. Jabloschkoff, et qui a été expérimenté aux magasins du Louvre.

On sait que ce système consiste dans l'emploi de véritables bougies formées de charbons placés parallèlement et séparés par une matière isolante d'une composition spéciale. Avec ce procédé d'éclairage électrique, on peut distribuer la lumière en divers points de l'atelier ou de la halle, aussi faible que soit la hauteur de l'atelier. Ces bougies, qui sont de grosseurs variables ou que l'on peut grouper en faisceaux de 2, 3, 4 ou davantage, constituent plusieurs foyers multiples dispersés dans l'espace à éclairer, chacun d'eux pouvant produire, dans l'endroit où il est placé, la quantité de lumière désirable pour cet endroit.

Ce système d'éclairage offrirait cet avantage qu'une source unique de courants électriques pourrait alimenter plusieurs bougies placées sur le même circuit. La combustion de la bougie donne lieu en effet à ce phénomène particulier; c'est que la matière isolante qui sépare les charbons fond lorsque la bougie s'use, forme une véritable flamme d'une lumière douce et constante, et établit la continuité du circuit électrique, de telle sorte qu'un seul fil réunissant toutes les bougies suffit pour les alimenter. On réaliserait ainsi la *divisibilité de la lumière électrique*.

Cette division de la lumière électrique augmenterait le rendement dans des proportions notables. En effet, en se reportant à la loi de la transmission de la lumière qui décroît avec le carré des distances, si l'on a une surface à éclairer, il est préférable de lui affecter un foyer spécial relativement faible que de l'éclairer par une fraction de lumière, venant à longue distance d'un gros foyer éloigné. C'est pour cette raison qu'avec le gaz on multiplie et on disperse les becs de gaz, quand on veut bien répartir la lumière.

M. Fontaine connaît très-bien les bougies Jabloschkoff, et s'il n'en a pas parlé, c'est qu'elles n'ont pas jusqu'ici d'application industrielle possible, et qu'elles ne lui paraissent pas, par conséquent, devoir entrer dans une discussion de faits industriels établis comme ceux qu'il a présentés à la Société. Il ne faut pas perdre de vue que l'on n'obtient d'économie avec la lumière électrique que par son emploi en grand. Chercher à la diviser déplace tout à fait le problème, et le gaz se prête bien mieux à cette division.

M. Mardelet insiste sur ce fait qu'il est possible de diviser et de distribuer la lumière électrique tout en profitant de ses avantages particuliers. C'est même, suivant lui, la seule voie qui puisse conduire à l'emploi universel de la lumière électrique.

M. de Bruignac demande si le foyer lumineux placé à bord des navires se trouvait disposé de façon que l'œil de l'officier de quart ne pût éviter de

Digitized by Google

voir en même temps une partie de la mer éclairée et une autre obscure ; car, s'il en était ainsi, cela pourrait suffire à expliquer la gêne éprouvée, en même temps qu'il deviendrait probablement facile d'y remédier et de rendre à la marine le précieux concours de la lumière électrique.

M. Fontaine ne peut répondre à cet égard, il ne peut que citer les faits tels qu'ils lui ont été communiqués.

M. le Président remercie M. Hippolyte Fontaine de sa communication. Il constate l'accueil favorable qu'elle a reçu de la Société et clôt la discussion très-intéressante à laquelle elle a donné lieu.

M. Arson donne communication de sa note sur un four à réchauffer les bandages des roues.

Les diverses opérations du charronnage ont été, depuis quelques années, l'objet de perfectionnements très-importants; le débit des bois, leur dessiccation rapide, la façon régulière des pièces qui entrent dans la confection des roues, leur assemblage, ont donné lieu à la création de machines-outils exécutant ces divers travaux avec une grande perfection.

Le cintrage et la soudure des cercles en fer ont aussi donné lieu à la création d'appareils et de procédés très-remarquables.

La Société a déjà eu connaissance de ce que présentent d'intéressant à cet égard les établissements si remarquables de la Compagnie des Omnibus, de la Compagnie des Petites-Voitures et de l'atelier de construction de M. Colas.

Le chauffage des bandages et leur embattage ne paraissent pas cependant produits dans les meilleures conditions possibles. Le chauffage est inégal, coûteux de combustible, lent dans l'opération et cher de main-d'œuvre.

Cette partie du travail, qui se prêtait à une amélioration notable, a été l'objet d'une solution par la Compagnie parisienne du Gaz.

En voici la description sommaire.

L'ensemble se compose d'un four à réchauffer et d'une cuve à embattre, qui sont desservis par deux grues légères et très-mobiles.

Le four, de forme lenticulaire, est à réverbère. La base, de forme cylindrique, porte à son centre un foyer; la sole est fermée par un couvercle mobile suspendu par des chaînes passant sur des poulies et équilibrées par un contre-poids. Pendant l'opération, les produits de la combustion rabattus par le dôme, et qui n'ont d'autres issues qne les ouvertures intérieures pratiquées dans la sole, enveloppent les cercles à réchauffer et s'échappent sous terre, appelés par le tirage d'une cheminée voisine.

La cuve à embattre est un bassin en fonte dans lequel peuvent être placées à l'avance et solidement fixées les roues à embattre. L'eau qui est nécessaire pour refroidir les cercles aussitôt après leur embattage arrive dans cette cuve par trois ouvertures différentes, et permet de produire le

Digitized by Google

refroidissement rapide du cercle. Au centre est placée une soupape pour la vidange de la cuve.

Opération. — Lorsque le four est monté en température, c'est-à-dire après 2 heures de marche, il suffit de 7 minutes pour produire le chauffage de bandages de roues ayant $1^m,750$ de diamètre, $0^m,075$ de largeur et $0^m,028$ d'épaisseur.

Les forts bandages de même diamètre, mais qui ont $0^m,135$ de largeur et $0^m,045$ d'épaisseur, exigent 15 à 18 minutes de chauffage pour arriver à la même température de 6 à 700 degrés.

Pour abréger la durée du chauffage et utiliser le temps des servants, on chauffe à la fois des bandages de plusieurs diamètres. Cette manière de faire justifie les dispositions prises dans le projet et qui permettent d'élever le dôme à une hauteur suffisante pour qu'il soit possible d'introduire le bras de la grue entre ce dôme et la sole, et d'aller chercher ainsi l'un quelconque des cercles soumis au chauffage.

Pendant que le dôme est levé et après que l'une des grues a retiré du four l'un des cercles assez chaud pour être embattu, la seconde grue introduit immédiatement un autre couvercle et le dôme est rapidement abaissé.

La cuve à embattre ayant une forme régulière, le bandage arrive certainement à sa place sans déformer la roue, alors même que certains rayons plus longs que les autres, ou que certaines fractions de la jante, plus saillantes que les autres, présenteraient certaines difficultés à l'embattage.

L'approche et la manutention des roues et des fers, le soin du foyer, l'embattage, l'enlèvement des roues exigent la présence de dix ouvriers, dont un chef d'équipe commandant la manœuvre.

Combustible. — Les vieux bois provenant de la démolition des voitures réformées, les copeaux et les éclats produits par la confection des travaux neufs suffisent au chauffage du four. On en brûle environ 2,400 kil. en dix heures de travail, pendant lesquelles on obtient les résultats suivants :

Digitized by Google

NOMBRE DES ROUES EMBATTUES.	DIMENSIONS.			POIDS		BOIS employé par kilogramme de FER CHAUFFÉ.
	DIAMÈTRE.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	DE L'UNITÉ.	TOTAUX.	
Embattage du 4 octobre 1876.						
4 roues de tombereaux à 2 chevaux	1m,850	0m,110	0m,040	198k	792k	0k,268
2 roues de tapissière	1 ,500	0 ,045	0 ,020	33	66	
60 roues de guimbardes (vieilles)	1 ,750	0 ,075	0m,020 à 0,027	75	4,500	
40 roues de guimbardes (neuves)	1 ,750	0 ,075	0 ,028	90	3,500	
106 roues.					8,958	
Embattage du 5 octobre 1876.						
4 roues de tonne à 4 chevaux	1m,870	0m,110	0m,040	200k	800k	0k,343
2 roues de tonne à 2 chevaux	1 ,750	0 ,090	0 ,030	115	230	
8 roues de camion à 2 chevaux	1 ,000	0 ,080	0 ,030	59	472	
2 roues de tapissière	1 ,500	0 ,045	0 ,020	33	66	
2 roues de tapissière	1 ,200	0 ,045	0 ,020	26	52	
40 camions de chauffeurs	1 ,080	0 ,045	0 ,015	18	720	
62 roues de guimbardes	1 ,750	0 ,075	0m,020 à 0,027	75	4,650	
120 roues.					6,990	

Digitized by Google

Prix de revient. — Si l'on suppose que le prix de la main-d'œuvre des 10 ouvriers occupés à ce travail s'élève à la somme de 55 fr., considérant d'ailleurs que le combustible ne nous coûte rien, on arrive à reconnaître que le prix de revient d'embattage ne s'élève qu'à la somme de *six à sept millièmes par kilogramme.*

Le résultat obtenu au point de vue du travail est aussi des plus satisfaisants.

M. Maldant demande à M. Arson s'il ne pourrait pas indiquer les frais de construction des fours qu'il vient de décrire. La régularité d'opération et l'économie si remarquable qui viennent d'être indiquées, sont si loin des procédés barbares qu'on emploie encore presque partout aujourd'hui, qu'il serait bien désirable que tous ceux que cette question intéresse fussent fixés sur les frais de premier établissement et sur les dispositions des fours à réchauffer les bandages des diverses dimensions.

M. Arson indique que le prix de construction d'un four est très-peu de chose, et il est extraordinaire qu'il existe sous ce rapport si peu d'installations satisfaisantes. Aux ateliers des Omnibus, on chauffe le cercle verticalement et par parties successives; c'est coûteux, l'échauffement n'a pas lieu également partout et la plupart du temps le cercle se déforme. Chez M. Collas, il existe un grand four à réverbère à voûte fixe. L'inconvénient de ce four est d'exiger une grande ouverture latérale, par où l'on entre et sort les bandages. Elle est fermée par une porte en tôle, ce qui fait qu'une partie du four n'est pas chauffée au même degré que le reste.

Il faut dire que pour les petites installations de charronnage, la création d'un four ne serait pas justifiée. Il faut avoir au moins une centaine de cercles à poser par jour pour qu'il y ait utilité à le construire, parce que si l'appareil est peu coûteux, il faut néanmoins porter le four au rouge chaque fois qu'on s'en sert, et qu'ainsi il faut pouvoir utiliser chaque chauffe pour un certain nombre de bandages.

M. Gaudry loue beaucoup l'appareil décrit par M. Arson et s'étonne que tous les ateliers des chemins de fer n'en possèdent pas de semblables.

M. le Président remercie M. Arson de la communication.

M. Dumont donne en quelques mots le résumé du travail qu'il a présenté à la Société sur la distribution des eaux de Seine dans la banlieue de Paris.

Au moment où les affaires d'élévation et de distribution d'eau prennent une assez grande extension, il a cru utile de réunir quelques renseignements, surtout statistiques et d'administration, sur une entreprise (celle de la Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris) qui fut d'abord assez ingrate, mais a pris un rapide développement et est devenue prospère en peu de temps.

Il décrit la zone desservie par la Compagnie, l'installation des machines élévatoires de Suresnes, la disposition de ses réservoirs et le réseau des canalisations. Il signale l'emploi de plus en plus fréquent du compteur à eau qui tend à remplacer à peu près complétement l'usage de la jauge et donne enfin quelques renseignements sur l'organisation des abonnements.

Digitized by Google

M. Maldant, bien d'accord avec M. Dumont sur les avantages importants et divers qui résultent de l'emploi des *compteurs d'eau*, demande quels sont les systèmes employés et les résultats obtenus par la Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris?

M. Dumont répond que le seul système employé est le compteur Siemens qui, par son prix peu élevé et son volume, satisfait le mieux, suivant lui, à la pratique des abonnements.

M. Arson émet l'avis que la question des compteurs à eau est très-complexe et difficile. Une des premières conditions est que le mesurage de l'eau se fasse sans presque de perte de charge et exactement. Sous ce rapport, il était arrivé à un résultat remarquable par l'emploi du compteur à gaz ordinaire modifié en ce sens que l'eau prenait la place du gaz et réciproquement. Cet appareil comptait très-exactement et l'on a pu s'en assurer en remplissant une cuve au gazomètre. Mais il fonctionnait à l'air libre et se trouvait donc impropre au service des abonnements, où il faut conserver autant que possible à l'eau la pression qu'elle a dans les canalisations. De plus, il pouvait s'obstruer par les matières étrangères contenues dans l'eau et même par les petits poissons.

M. Ansart indique que les compteurs d'eau Siemens sont très-employés en Amérique et sous toute pression, jusqu'à 60 mètres à San-Yago. Ils ont un défaut, c'est qu'on peut, en réglant d'une certaine manière les robinets d'entrée et de sortie, faire passer par le compteur un très-petit filet d'eau qui ne s'inscrit pas et n'en fournit pas moins, en vingt-quatre heures, un demi-mètre cube et même quelquefois un ou deux mètres cubes que l'abonné ne paye pas au détriment de la Compagnie.

M. Badois confirme ce fait. Il est tellement évident qu'à Orléans, où ce compteur est partiellement employé, on impose à toute maison qui s'abonne au compteur une somme constante à payer tout d'abord, chaque année, en dehors de la quantité d'eau indiquée par l'appareil.

Suivant lui, le meilleur compteur à eau est celui de M. Frager, construit par M. Michel, à Paris. Il cite cet exemple d'un essai fait et poursuivi pendant plusieurs mois chez un Ingénieur de la ville de Paris et qui consistait à remplir goutte à goutte un vase d'eau, capacité connue, 12 litres environ. Quand le vase était plein, au bout d'une huitaine de jours, on vérifiait l'indication du compteur qui se trouvait exacte.

Le principe de ce compteur réside dans une distribution par tiroirs qui remplit successivement quatre cylindres de capacité déterminée et munis de pistons dont le mouvement enregistre chaque cylindrée sur un cadran. Quand l'appareil ne fonctionne pas bien, l'eau ne peut plus passer et l'abonné ne reçoit pas d'eau. La Compagnie est par conséquent prévenue; on visite le compteur et il ne peut y avoir de dilapidation.

L'inconvénient de cet appareil est qu'il doit être construit en métal non oxydable et qu'à cause de cela il est assez cher.

M. Maldant dit que le compteur Siemens est le plus simple et le moins cher des compteurs d'eau; mais c'est, en même temps, le moins exact; et

Digitized by Google

celui qui prête le plus facilement à la fraude lorsque les abonnés connaissent ses défauts.

M. MALDANT a eu souvent l'occasion de constater, avec les compteurs Siemens, des pertes d'eau, à petit débit, qui ont été signalées par un de nos collègues, et il croit que ce grave défaut est loin d'être compensé par la modicité du prix de l'appareil.

Quant aux compteurs à cylindres et à distribution par tiroirs, dont a parlé M. Badois, il en a été fait de plusieurs systèmes. M. Maldant croit que ce type de compteur d'eau est le plus cher et le plus exact de ceux qu'on a récemment fabriqués : on lui reproche pourtant, généralement, d'être trop *délicat*. Il exige des eaux très-propres, et, avec des entraînements vaseux ou autres, les tiroirs grippent ou se soulèvent au grand détriment du bon fonctionnement de l'appareil.

M. MALDANT ajoute que divers constructeurs fabriquent, comme lui-même, un autre genre de compteur d'eau, dit *à membrane*, qu'il croit meilleur et plus pratique que les deux autres : ce compteur n'est pas sensiblement plus cher que le Siemens, il marque les moindres débits d'eau, et il peut être impunément traversé par des impuretés qui détérioreraient les compteurs à cylindres et tiroirs.

M. MALDANT est heureux de constater que l'importante Compagnie des Eaux de la banlieue n'a pas hésité à adopter résolument, comme on le fait partout en Angleterre, l'emploi des compteurs pour ses concessions d'eau.

MM. Gazan, de Laboriette et Maury ont été admis comme membres sociétaires.

Séance du 3 Août 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à neuf heures.

M. QUÉRUEL dit que, s'il avait été présent à la dernière séance, il aurait fait observer que le procès-verbal de la séance du 6 juillet ne reproduisait pas entièrement la note qu'il avait rédigée au sujet de la discussion sur les modifications à apporter aux statuts.

M. LE PRÉSIDENT répond que dans la note rédigée par M. Quéruel il a mis, de son propre aveu, des observations qu'il n'avait pas faites.

Le procès-verbal de la séance du 20 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Consolat.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la communication suivante.

Le Comité, après avoir pris connaissance des procès-verbaux de ses séances des 27 septembre 1872, 17 janvier 1873, 18 décembre 1874, 3 et 17 mars 1876 et du procès-verbal de l'assemblée générale du 17 no-

Digitized by Google

vembre 1876, est d'opinion que le travail considérable auquel s'est livrée, sous la présidence de M. Goschler, la Commission qui s'est occupée des modifications du règlement n'ayant pu être terminé dans l'année qui a suivi la nomination de ladite Commission, et les comités qui ont été nommés les années suivantes, n'ayant pas manifesté un courant d'idées favorables à ces modifications, il était rationnel de considérer la Commission comme virtuellement dissoute.

En effet, les membres de la Commission, qui attachent à leur travail une juste importance, ont fait le dépôt définitif de leur rapport le 17 mars 1876, en demandant qu'il fût imprimé pour faciliter la discussion. Le Comité n'a pas cru devoir autoriser cette dépense, tout en remerciant la Commission des soins donnés à son travail.

La Commission a alors fait faire l'impression à ses frais et sans aucune participation de la Société, en se bornant à déposer quelques exemplaires aux archives et à en adresser un à chaque membre du Comité.

En témoignant ainsi son désir de ne pas se mettre en opposition avec le sentiment du Comité, la Commission, tout en faisant connaître le résultat de ses investigations et de ses vues, a voulu éviter d'établir un conflit d'opinion, et s'est dès lors reconnue dessaisie de son mandat. En conséquence, aucune proposition relative aux statuts et règlement n'est actuellement à l'état de proposition qui puisse être soumise au vote de l'assemblée générale, et il n'y a plus lieu de s'occuper de cet incident que pour remercier à nouveau la Commission de ses soins.

M. Maldant demande à discuter ce document.

M. le Président répond que, cette discussion n'étant pas à l'ordre du jour, elle ne peut avoir lieu.

M. Arson présente à la Société un spécimen d'étau à mouvement parallèle.

Cet appareil se recommande par la simplicité de la manœuvre et par la facilité avec laquelle il peut être fixé sur un établi quelconque.

M. Regnard dit qu'il a été à même de voir des étaux de ce genre à l'exposition de Philadelphie, et qu'en Amérique les étaux dont les machoires ont un mouvement parallèle sont beaucoup plus répandus que les étaux à articulation, généralement employés en Europe.

L'ordre du jour appelle les communications de M. Gaudry sur les railways et sur la marine de la Grande-Bretagne (Voir ces notes, pages 535 et 647).

M. Maldant dit que M. Gaudry a relaté parmi les appareils à assécher les navires, le chariot sur plan incliné, dit Patent-Slip, dont un spécimen va être installé par M. de Quillacq au port de Dunkerque, et il observe qu'une cale inclinée pour la réparation des navires a été installée il y a 12 à 15 ans à Bordeaux par M. Lobat. Cette cale était parallèle à l'axe du fleuve, quand au contraire les cales perpendiculaires paraissent aujourd'hui généralement adoptées. M. Maldant demande si M. Gaudry pourrait fournir quelques explications complémentaires, tant sur l'époque d'application des premières cales inclinées que sur la valeur des divers systèmes.

Digitized by Google

M. Gaudry répond que c'est en 1818 qu'on a installé le premier appareil en Angleterre, et qu'aujourd'hui il en existe dans presque tous les ports anglais.

Tous les appareils qu'il a vus sont perpendiculaires au rivage; ce qui est plus simple de manœuvre et beaucoup moins dispendieux. M. Gaudry ne connaît qu'une exception : c'est celle de l'appareil installé à Bordeaux qui amène les navires parallèlement au rivage.

M. Quéruel demande en quelle matière sont construites les cales à sec, et à quelle époque remontent les grandes transformations que les navires ont subies en Angleterre, et que signale M. Gaudry.

M. Gaudry dit que ces cales sont en bois, et c'est depuis trois ans seulement que le grand mouvement auquel nous assistons s'est prononcé, mais qu'il a été préparé pendant les quelques années qui ont précédé ces trois dernières.

M. Quéruel croit devoir revendiquer en faveur de la France les derniers perfectionnements apportés dans la marine à vapeur, en ces derniers temps: notre collègue, M. B. Normand, a été le premier en France (1860) qui ait fait l'application du système Compound à 6 kilog. de pression, avec chaudières cylindriques et eau distillée.

M. Quéruel l'avait précédé en 1856; il a construit un navire avec chaudières à 6 kilog. de pression, alimentées à l'eau distillée provenant d'un condenseur à surface, détente à 5 volumes dans chaque cylindre, conditions toutes nouvelles alors et qui ont donné les meilleurs résultats.

A propos de l'alimentation des chaudières à l'eau distillée, M. Gaudry rappelle que ce mode n'est pas sans inconvénient dans certaines circonstances encore peu connues; il y a destruction plus ou moins rapide du métal par l'eau distillée.

M. Quéruel n'est pas de l'avis de M. Gaudry en ce qui concerne les chaudières exclusivement en fer, et il cite l'exemple d'une usine dont les chaudières sont alimentées depuis longtemps à l'eau distillée et cela sans aucun inconvénient.

Il n'en est plus de même quand les chaudières sont composées de deux métaux différents, cuivre et fer par exemple. Au contact des deux métaux il y a destruction rapide du fer et, par suite, des fuites incessantes.

On peut atténuer cet effet de corrosion en plongeant une masse de zinc dans l'eau de la chaudière.

M. Regnard prétend que la corrosion du métal est produite par l'acidité de l'eau, provenant de la décomposition des corps gras qui sont entraînés par la vapeur qui a agi dans le cylindre de la machine. Il rappelle que dans la marine on fait emploi du zinc pour enlever l'acidité de l'eau d'alimentation provenant des condenseurs à surface.

M. Loiseau dit qu'il est rare qu'on alimente exclusivement avec de l'eau distillée; on est obligé, pour compenser les pertes, d'ajouter une certaine quantité d'eau à celle provenant du condenseur, et cette addition se fait généralement en eau ordinaire. Or, la proportion et la qualité de celle-ci

Digitized by Google

peuvent être très-différentes et expliquer les faits contradictoires qui ont été observés. Il serait donc nécessaire de bien spécifier et la quantité de l'eau ordinaire ajoutée et sa qualité, quand on veut se rendre compte des effets produits par l'alimentation à l'eau distillée.

Quant aux corps gras, il a déjà fait des expériences desquelles il faut conclure jusqu'ici qu'ils ne sont pas un principe de destruction des chaudières, à la condition, bien entendu, qu'on n'ait pas employé des huiles ou graisses naturellement acides, ce qui n'est pas rare.

M. Gaudry dit que dans la marine on ajoute un tiers environ d'eau de mer à l'eau distillée provenant des condenseurs, et qu'avec cette proportion il n'y a pas de détérioration anomale des chaudières, tandis qu'il y en a une très-rapide, quand on alimente exclusivement à l'eau distillée.

Il a été à même de juger que les eaux provenant des purgeurs de cylindres n'étaient pas corrosives.

M. Loiseau appuie la manière de voir de M. Gaudry en ce qui concerne l'action des graisses.

M. Derennes dit qu'en versant de l'eau distillée dans un tube de verre contenant de la limaille de fer, et en agitant, on obtient une production abondante d'oxyde; si l'eau est calcaire, le métal n'est pas attaqué.

M. Gaudry dit qu'il a fait à cet égard de nombreuses expériences qui ont été très-contradictoires. La Compagnie des chemins de fer de l'Est étudie activement la question, car elle a, dans les Vosges, des eaux d'alimentation qui ont la pureté de l'eau distillée, et M. Gaudry se fera un devoir de communiquer, quand il en sera temps, les conclusions de cette étude. Il peut déjà signaler un fait curieux : c'est que de l'eau distillée ou de l'eau des Vosges, d'abord manifestement corrosives, sont ensuite devenues plus inoffensives que l'eau de Seine, avec une addition d'eau de chaux telle, que le mélange marque 24 degrés hydrotimétriques.

M. Quéruel dit qu'on peut se débarrasser des corps gras entraînés par la vapeur en faisant passer l'eau de condensation au travers d'une couche de sciure de bois.

M. le Président remercie M. Gaudry de ses intéressantes communications.

M. Ansart donne ensuite communication de sa note sur la construction économique des murs de réservoir. (Voir cette note, page 581.)

M. Arson demande quels sont les prix des matériaux de construction qui ont servi de base pour l'établissement des prix de revient indiqués par M. Ansart.

M. Ansart répond que le prix du mètre cube de pierre de taille est de 125 francs, et celui du mètre cube de maçonnerie de moellons de 65 francs.

M. le Président remercie M. Ansart de sa communication.

M. Regnard a la parole pour l'analyse de l'ouvrage de M. Vigreux sur l'Art de l'Ingénieur. (Voir cette analyse, page 604.)

Digitized by Google

DIVERS MODES D'ACCOUPLEMENT

DE

DEUX ARBRES PARALLÈLES

TOURNANT EN SENS CONTRAIRES

PAR M. **BOURDON (CHARLES).**

APPLICATION AUX BATEAUX A DEUX HÉLICES.

Je ne veux parler dans cet exposé ni de la transmission par engrenage, ni de la transmission par courroies croisées.

Le problème que je me suis posé est celui de la transmission au moyen d'un organe permettant d'accoupler deux arbres, devant tourner en sens contraires, comme on accouple deux arbres devant tourner dans le même sens au moyen de bielles droites. Par analogie avec ce que donnent les courroies, les bielles droites donnant la rotation des deux arbres dans le même sens, on devait songer à employer les bielles croisées pour obtenir la rotation en sens contraires. C'est, en effet, au moyen de bielles croisées de constructions spéciales que j'arrivai au résultat cherché.

Je reconnus tout d'abord, que l'accouplement pouvait se faire par deux manières différentes :

1° *Par un organe de longueur constante;*
2° *Par un organe de longueur variable.*

Des difficultés d'exécution, que la suite fera comprendre, me firent renoncer à la première solution, qui cependant me paraissait la meilleure, un organe de longueur constante étant plus facile à réaliser

Digitized by Google

mécaniquement et présentant toujours plus de sécurité. Je dus néanmoins l'abandonner, et je m'attachai plus spécialement à la deuxième solution. J'ai eu depuis connaissance qu'en 1853, MM. Clarapède, Roux et Delille s'étaient occupés comme moi de la question, en vue des bateaux à deux hélices, et qu'ils avaient adopté l'accouplement par organe de longueur constante. Je parlerai donc en premier lieu des dispositions présentées par MM. Claparède, Roux et Delille.

1° ACCOUPLEMENT PAR ORGANE DE LONGUEUR CONSTANTE.

Il y a plusieurs dispositions possibles, reposant toutes sur un principe qui est réciproque de celui du parallélogramme de Watt. Le milieu d'une droite de longueur constante, astreinte à glisser sur deux circonférences fixes, de rayon donné, et dans le même temps, décrit une courbe en ∞. C'est le principe du parallélogramme de Watt. Réciproquement si l'on astreint l'extrémité d'une droite de longueur constante à décrire un cercle, et son milieu à décrire une courbe en ∞ convenable, l'autre extrémité de la droite décrit un cercle de même rayon que le premier

Soient donc un cercle O et une droite AA′, dont le point A décrit le cercle O. Si le milieu M de cette droite est astreint à décrire une courbe en ∞ convenable, le point A′ décrira un cercle O′ de même rayon que O lorsque le point A parcourra le cercle O (fig. 1, pl. 98).

Pour forcer M à décrire la courbe en ∞ convenable, il faut qu'il fasse partie d'un autre système, dont il soit un point devant décrire la même courbe en ∞ que le point M du système des deux cercles O et O et de la droite AA′.

Soit, par exemple, le système des deux cercles CC′ et de la droite BB′, dont M est le milieu. Le point M de BB′ décrit une courbe en ∞ lorsqu'elle se meut en observant la condition que les deux points B et B′ s'appuient constamment sur les cercles C C′. Si nous admettons que cette courbe soit la même que celle décrite par le milieu de AA′, il est évident que M ne pourra décrire un autre lieu.

Pratiquement on arrive par tâtonnements à trouver deux systèmes remplissant à peu près la condition ci-dessus; mais, mathématiquement, on ne peut pas, je crois, y arriver.

Digitized by Google

Que faut-il, en effet, pour avoir les éléments des deux systèmes remplissant la condition? Il faut chercher l'équation de la courbe en ∞ dans chaque système et identifier les deux équations.

Malheureusement, il me paraît impossible d'obtenir ce résultat, parce que, dans le cas où M est pris sur AA′ et où AA′ = OO′, la courbe se compose d'un cercle et d'une courbe du 4e degré. Dans le cas, au contraire, où M est pris sur BB′, et où MB est compris entre MD et MC, la courbe est du 6e degré, indécomposable en deux. Et ce sont, il me semble, d'après la discussion de l'équation, les deux seuls cas où on pourrait avoir deux courbes superposables.

Toutefois, je crois qu'en pratique il sera souvent possible d'arriver à trouver deux courbes suffisamment semblables pour pouvoir employer cette combinaison, dont l'exécution est assez simple.

On comprend alors aisément la construction de l'appareil dans le cas de l'accouplement de deux arbres devant tourner en sens contraires. Les abouts des arbres portent les manivelles OA, O′A′, que l'on réunit par une bielle AA′, dont le milieu est suspendu à la bielle BB′, reliée elle-même par ses deux extrémités aux manivelles BC, B′C′(fi. 5, pl. 97).

On doit remarquer que l'accouplement des deux arbres par ce système se fait sans point mort.

En effet, la bielle AA′ est animée en même temps d'un mouvement de translation et d'un mouvement d'oscillation autour du centre M. Or, lorsqu'elle est à fin de course de l'un de ces mouvements, c'est-à-dire au point mort qui y correspond, elle est à moitié course de l'autre, par conséquent en pleine prise. Autrement dit, ces deux mouvements n'ont jamais leurs points morts en même temps.

C'est un organe qui participe de la bielle et du balancier, et qui, lorsqu'il est au point mort comme bielle, est en prise comme balancier, et réciproquement.

Donc, quelle que soit la position des manivelles OA, O′A′, l'une d'elles faisant un mouvement, l'autre décrira immédiatement un arc en sens contraire.

Nous n'aurons donc jamais de points morts. C'est cette propriété qui amène une grande simplification dans la construction des machines pour bateaux à deux hélices. Cette disposition ne permet pas d'obtenir la rotation des deux arbres avec une vitesse uniforme.

Les fig. 6, pl. 97 représentent une autre disposttion basée sur le même principe, mais dans laquelle le milieu de la bielle est astreint à décrire

Digitized by Google

la courbe en ∞ au moyen d'une coulisse et d'un excentrique. Cette solution, de même que la première, n'est pas rigoureuse.

2° ACCOUPLEMENT PAR ORGANE DE LONGUEUR VARIABLE.

Nous considérerons deux cas suivant que l'on voudra obtenir la rotation des deux arbres avec une vitesse uniforme, ou bien qu'il n'y aura pas inconvénient à avoir une vitesse variée, comme dans la trans ission par bielle et manivelle.

1° MOUVEMENT UNIFORME.

Les combinaisons donnant ce résultat reposent sur les réciproques des théorèmes de géométrie suivants, que nous avons établis en collaboration avec M. Ém. Vignes, ingénieur à la Compagnie d'Orléans-Châlons :

1° Lorsque dans deux cercles de rayon quelconque, placés d'une façon quelconque l'un par rapport à l'autre, on mène deux rayons chacun dans une direction arbitraire, si l'on suppose que ces deux rayons viennent à tourner en sens contraires, avec des vitesses angulaires égales, la ligne qui joint à chaque instant leurs extrémités est de longueur variable; mais le point qui la divise dans le rapport des rayons, décrit une ligne droite parallèle à la bissectrice de leur angle qui est de direction constante.

2° Si les cercles sont de même rayon, la projection de la droite de longueur variable sur la direction de la bissectrice est constante.

Ainsi, dans la fig. 2, pl. 98, lorsque OA et O′A′ décrivent les cercles en sens contraires avec des vitesses angulaires égales, le point M, qui divise AA′ dans le rapport des rayons OA, O′A′, décrit une ligne droite MC, parallèle à la bissectrice de l'angle ACA′.

Si on joint A″A′, c'est le point M′ qui divise A″A′ dans le rapport des rayons, qui décrit une parallèle à l'autre bissectrice de l'angle des rayons.

De plus, si les cercles sont de même rayon, la projection de AA′ sur MC et celle de A″A′ sur l'autre bissectrice sont constantes.

Les démonstrations de ces deux théorèmes sont assez faciles. Soient OO′ les deux cercles, OA, O′A′ les deux rayons. Il faut démontrer que M, qui divise AA′ dans le rapport des rayons, décrit une droite parallèle à la bissectrice de l'angle des deux droites OA, O′A′ (fig. 3, pl. 98).

Digitized by Google

De O′ décrivons un cercle avec $O'A'' = OA$ pour rayon. Menons $O'A''$ parallèle à OA et joignons $A''A'$. Dans le triangle $A'O'A''$, la bissectrice $O'C$ divise $A''A$ dans le rapport des côtés adjacents $O'A'$, $O'A''$. Menons AA'' et MC parallèles à AA''. Les deux triangles $AA'A''$ et $MA'C$ sont semblables et donnent :

$$\frac{CA'}{CA''} = \frac{MA'}{MA}.$$

Or, d'après ce qui précède,

$$\frac{CA'}{CA''} = \frac{OA'}{OA''}.$$

Donc, à cause du rapport commun, on a :

$$\frac{MA'}{MA} = \frac{O'A'}{OA}.$$

De plus, $AA' = OO' =$ constante, puisque $O'A''$ est parallèle et égal à OA. Donc MC, homologue de AA'', est aussi de longueur constante, et toujours parallèle à OO'. Le point M, qui divise AA' dans le rapport des rayons, est donc toujours à égale distance de $O'C$. Le lieu des points M est donc une parallèle à O, C.

On voit que la direction ML peut être quelconque et donnée *à priori*.

Supposons maintenant les deux cercles de même rayon. Le point M est alors milieu de AA'. Il faut démontrer que la projection de AA' sur ML est constante (fig. 4, pl. 98).

Menons OC, $O'C'$ parallèles à LM et les perpendiculaires AP, $A'P'$, CQ, $C'Q'$. La rotation des deux rayons se faisant avec des vitesses angulaires égales, les arcs AC, $A'C'$ sont égaux. Donc les quantités PQ, $P'Q'$ sont égales aussi. Il en résulte que $PP' = QQ'$. Or, QQ' est constant; donc PP' l'est aussi. Ce qu'il fallait démontrer.

Il faut appliquer les réciproques de ces théorèmes à la transmission de mouvement entre deux arbres tournant en sens contraires (fig. 5, pl. 98).

Pour cela, je prends un cercle O, et comme direction constante une ligne OM passant par le centre de ce cercle. Une droite AA', dont la la longueur varie en observant la loi que sa projection sur OM soit constante, a une de ses extrémités qui décrit le cercle O et son milieu suit la ligne OM. Il résulte alors des théorèmes précédents que pendant que le point A décrit le cercle O, l'autre extrémité A′ de AA' décrit en sens contraire avec la même vitesse angulaire que A un cercle O′, de

Digitized by Google

rayon que O et même ayant son centre sur OM. Si la vitesse angulaire de A est uniforme, il en sera de même de A'.

Nous avons donc à construire un organe de longueur variable, pour cela il n'y a que deux moyens : employer ou un système articulé ou une pièce droite coupée en deux parties. Il faut de plus donner à chaque instant à la droite la longueur exacte qu'elle doit avoir d'après la loi du mouvement, c'est-à-dire observer la condition que sa projection sur la bissectrice, qui est ici la ligne des centres, soit constante.

Au point de vue mécanique, l'appareil consistera donc toujours en un balancier de longueur variable dont le centre sera animé d'un mouvement de translation. On pourrait appeler cela un balancier-bielle. Cet organe réunira par ses extrémités deux manivelles clavetées sur les arbres à faire tourner, et sera muni d'une disposition qui en détermine à chaque instant la longueur.

Je donne ici deux dispositions de liaison des deux manivelles par système articulé, et une par pièce droite coupée en deux.

La première est une application du parallélogramme Paucellier (fig. 1, pl. 97).

Je forme un balancier au moyen de deux parallélogrammes Peaucelcier. Ce balancier a son centre d'oscillation sur un coulisseau qui se meut entre deux glissières et porte les points fixes des parallélogrammes. Quelle que soit la position de ce balancier, je dis que sa projection sur la ligne des centres est constante.

En effet, faisons un moment abstraction du mouvement de translation, qui n'a aucune influence sur la valeur de la projection du balancier. Nous voyons alors qu'il faut construire un balancier AA' qui oscille autour de son centre M, et que sa longueur varie de telle sorte que sa projection sur OO' reste constante. Pour cela, il faut évidemment que dans l'oscillation les points A et A' décrivent des perpendiculaires à la droite OO'. C'est, en effet, ce qui se produit dans mon balancier, formé de deux parallélogrammes Peaucellier. En reliant mes deux manivelles par ce balancier, je les relie donc par un organe répondant aux conditions du mouvement, et la rotation des deux arbres en sens contraires aura lieu avec une vitesse uniforme.

Mais il ressort de cette disposition une chose sur laquelle j'insiste beaucoup. C'est que dans la transmission par bielle et manivelle, lorsqu'on voudra obtenir la rotation de l'arbre avec une vitesse uniforme, on pourra se servir du parallélogramme.

Digitized by Google

En effet, si dans notre appareil nous supprimons une des manivelles et son bras de balancier, on voit que si un piston donne au coulisseau un mouvement de translation, la manivelle qui lui est liée tournera avec une vitesse uniforme. Donc, dans la transmission par bielle et manivelle, pour obtenir la rotation avec une vitesse uniforme, il faut employer une bielle dont la longueur varie en étant soumise à la loi que sa projection sur l'axe qui passe par le centre de la manivelle et le centre du coulisseau soit constante ; condition qui est remplie par une bielle formée d'un parallélogramme Peaucellier ou autre.

Le deuxième mode de liaison par ligne brisée consiste en un balancier portant à chaque extrémité un petit manneton qui le relie à la manivelle de l'arbre (fig. 2, pl. 97).

Un de ces petits mannetons porte une contre-manivelle munie d'un petit coulisseau glissant dans un cadre vertical. Ce cadre est relié à l'axe du balancier par une barre dont la longueur est naturellement constante, et qui vient donner au centre d'oscillation du balancier une position telle que la projection de ce dernier sur la ligne des centres soit constante et égale à 1/2 de la distance des centres.

La troisième disposition présentée (fig. 4, pl. 97) est un mode d'accouplement par ligne droite coupée en deux tronçons. Ces deux tronçons sont emmanchés dans une douille qui peut osciller autour d'un axe et recevoir un mouvement de translation. L'écartement convenable est donné aux deux portions du balancier au moyen d'un mouvement de parallélogramme qui doit naturellement participer au mouvement de translation.

Ces trois dispositions jouissent, comme la transmission par bielle de longueur constante, de la propriété de ne pas avoir de point mort, et cela par les raisons précédemment exposées. Elles ont de plus l'avantage de transmettre à l'arbre conduit exactement le mouvement de l'autre, c'est-à-dire le mouvement uniforme, si celui de l'arbre conducteur est uniforme.

Ceci n'a pas lieu dans la disposition suivante :

2° MOUVEMENT VARIÉ.

Cette transmission, qui permet d'avoir un appareil plus simple, ne se fait pas, comme la précédente, suivant une loi géométrique. Ce n'est donc qu'une solution approchée (fig. 6, pl. 98).

Digitized by Google

Voici en quoi elle consiste :

Soient deux manivelles OA, O′A′. Je fixe l'une OA à l'extrémité d'un balancier dont le centre d'oscillation M peut recevoir un mouvement de translation suivant OO′, et dont la longueur est égale à OO′, par exemple. L'autre extrémité B décrit une courbe en forme de cœur, un peu différente du cercle, pendant que A décrit le cercle O, et je relie le point B à la manivelle A′ au moyen d'une petite bielle, qui produira l'entraînement de A′ suivant le cercle, quand B décrira la courbe en cœur, et réciproquement.

Dans cet appareil, où nous avons encore une liaison par système articulé de longueur variable, bien qu'il n'y ait rien pour en déterminer la longueur, le mouvement n'est pas indéterminé.

Le problème n'a en effet que deux solutions qui correspondent aux deux points A′ et A″, où le cercle décrit de B, comme centre avec BA′ pour rayon, rencontre le cercle O.

Mais, si on adopte la solution A′, la bielle BA′ ne peut, d'elle-même passer à la position BA″. Il faudrait pour cela démonter l'appareil.

Cette disposition n'est pas toujours applicable, et elle ne réussira que lorsque la distance des centres sera assez grande par rapport aux rayons des manivelles, égale à cinq fois, par exemple.

S'il en était autrement, la courbe en cœur s'éloignerait beaucoup trop du cercle, et la direction de la petite bielle beaucoup trop de la tangente, de là une décomposition des efforts dans laquelle les uns tendraient à produire la rotation dans un sens, les autres dans l'autre.

Toutefois, dans le tracé de cet appareil, on devra remarquer qu'on a un certain nombre d'éléments que l'on pourra faire varier à sa volonté, de façon à arriver à avoir un cercle O′ et une courbe en cœur se rapprochant le plus possible l'un de l'autre.

Ces éléments dont on dispose sont la longueur MB, le rayon OA′ et la longueur BA′. Je crois que les meilleures valeurs à adopter pour ces quantités sont les suivantes :

$$MA = MB,\ OA = O'A',$$

et la petite bielle égale à la tangente au cercle O′, mené par le point B.

Ce mécanisme jouit toujours de la propriété de ne pas avoir de point mort ; mais il ne transmet pas le mouvement sans altération de vitesse.

En effet, lorsqu'un des boutons de manivelle décrit un demi-cercle, l'autre décrit tantôt plus tantôt moins, c'est-à-dire que l'obliquité du

Digitized by Google

balancier, qui ici est, pour ainsi dire, de longueur constante, produit le même inconvénient que la bielle de longueur constante dans la transmission par bielle et manivelle. Et même ici c'est comme si nous avions deux bielles. Chacune des deux portions du balancier fait sentir l'influence de son obliquité, et la somme se reporte sur le côté M B.

Aussi, avant d'adopter cette transmission, devra-t-on en faire une épure bien exacte, et, en tous cas, faire en sorte que les rayons des manivelles soient aussi petits que possible par rapport à la distance des centres.

Au lieu de faire décrire une ligne droite à l'axe du balancier, on peut lui faire décrire un lieu géométrique quelconque. Par exemple, un arc de cercle ou une courbe de parallélogramme.

Dans ce dernier cas, la courbe décrite par le point B, c'est-à-dire la courbe en cœur, sa rapprocherait beaucoup du cercle. Si elle se confondait, on pourrait alors supprimer la petite bielle A' B, et l'on rentrerait dans la disposition Claparède, avec balancier de longueur constante.

APPLICATION AUX BATEAUX A HÉLICES.

La première application qui se présente de ce mode de transmission est l'application aux bateaux à deux hélices. Dans tout bateau à deux hélices, on a, en effet, deux arbres parallèles tournant en sens contraires, et on ne doit avoir de point mort sur aucun des arbres.

Pour obtenir ce résultat, on met généralement sur chaque arbre deux cylindres avec manivelles à 90°, soient quatre cylindres pour le bateau, ou bien on emploie la transmission par engrenages, en nombre pair.

Les quatres cylindres amènent une énorme complication, mais ont l'avantage de rendre les hélices indépendantes.

Les engrenages n'ont pas toujours cet avantage, et présentent les inconvénients connus inhérents à ce mode de transmission.

L'accoupplement par un des systèmes précédents ne donne pas l'indépendance complète des hélices, mais on a, en plus des avantages d'une transmission sans grands frottements, celui de n'avoir jamais de point mort sur aucun des arbres, tout en n'ayant qu'un cylindre par arbre; ces cylindres pouvant être même l'un à haute pression et l'autre à basse pression, c'est-à-dire la machine étant du système Compound.

Digitized by Google

Pour obtenir ce résultat, il suffit de mettre les manivelles à 90°, l'une par rapport à l'autre, puis de relier les deux arbres à leur extrémité par un des systèmes précédemment décrits.

De cette façon, au moins une des deux manivelles sera en prise ; et comme les deux arbres seront reliés par un organe qui n'a pas de point mort, le moindre mouvement qu'elle fera amènera un mouvement en sens contraire de l'autre arbre.

Je profite donc de l'avantage des deux manivelles à 90°, absolument comme si elles étaient montées sur le même arbre.

La fig. 7, pl. 98 montre que dans cet ordre d'idées on peut faire une machine très-simple, où tout soit bien à la main, et dont le prix soit peu élevé.

Dans ce type de machine, on voit que la commande de la pompe à air, des pompes alimentaires et de cale se fait très-simplement, en profitant du mouvement en ligne droite de l'axe du balancier.

Quant à la communication entre les deux cylindres, elle se fait au moyen d'un conduit en fonte d'assez fort diamètre pour former réservoir intermédiaire.

Entre les deux machines est un passage qui rend le graissage et la visite très-commodes. On pourrait, dans le cas d'un bateau allant à la mer, mettre à cette place le condenseur à surface.

J'ai dit précédemment qu'on n'avait pas l'indépendance complète des deux hélices, mais on a une indépendance relative.

Pour cela, il faut placer entre les hélices et les machines un débrayage sur chaque arbre. On pourra alors débrayer une hélice, et les deux cylindres serviront à faire tourner l'autre dans le sens qui sera nécessaire pour la manœuvre.

La machine (fig. 7, pl. 98) serait de la force de 60 chevaux de 75 kilogrammètres. Elle est supposée marcher avec une introduction de 40 p. 100 dans le petit cylindre, une pression de $7^{k},50$, et pouvoir être appliquée à un bateau de 15 mètres de longueur environ, devant filer 10 nœuds.

Digitized by Google

NOTE

SUR

LE NOUVEAU PORT DE COMMERCE

A TRIESTE

PAR M. FRÉDÉRIC BÖMCHES[1],
Inspecteur de la Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche.

Indications générales.

La rade actuelle de Trieste ne satisfait en aucune manière à ce que l'on exige d'un port moderne et bien installé. En effet, d'un côté une rade peu étendue, ouverte à tous les vents du midi et du couchant, très-peu de bassins abrités, à profondeur variable et insuffisante, quelques quais et quelques môles restreints, en partie inabordables, nulle facilité, nulle sécurité pour les opérations de l'embarquement et du débarquement; de l'autre côté une gare incomplète, placée à 10 mètres au-dessus du niveau des quais, sans communication avec eux, point de docks, très-peu de magasins et encore mal situés; — voilà ce que le port, ou mieux la rade de Trieste, offre au commerce.

Les inconvénients d'un tel état de choses, sentis depuis des années déjà, devenaient de plus en plus sensibles à mesure que le mouvement du port augmentait[2], de telle sorte que le gouvernement actuel se décida

1. Voir la discussion, séance du 2 mars 1877, page 189.

2. Les chiffres qui suivent font voir l'augmentation progressive de l'entrée et de la sortie par mer des marchandises de 1845 à 1875 (valeur en francs), d'après les rapports statistiques publiés par la Chambre du commerce et de l'industrie sur le *Movimento commerciale di Trieste*.

ANNÉE.	ENTRÉE.	SORTIE.	TOTAL.
1845	206,540,975	157,324,352	363,865,327
1855	295,264,712	244,757,432	540,022,144
1865	190,611,085	239,563,575	430,174,660
1875	344,419,107	255,106,125	599,525,232

Le mouvement du port de Trieste en 1875, était de 16,353 navires jaugeant 2,013,249 de tonnes, entrées et sorties réunies.

Digitized by Google

à remédier à cet état de choses en décrétant la transformation de la moitié Nord-Est de la rade ouverte en un port fermé et aménagé de manière à répondre aux besoins de la navigation moderne, afin de mettre Trieste en état de concourir avantageusement avec les autres ports principaux de l'Europe.

Le point de départ de cette tentative gouvernementale était le projet de M. Paulin Talabot, présenté à Sa Majesté l'empereur François-Joseph Ier, en février 1862, par les représentants de la Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche.

Ce projet, contenant une application sérieuse et approfondie de l'art des constructions maritimes aux conditions locales de Trieste, pour y créer un port de commerce, proposait la transformation de la rade entière en un port fermé (pl. 99, fig. 1). Ce travail servit de base à des études qui furent faites par différentes commissions locales et ministérielles, et qui aboutirent, non-seulement à une réduction du projet primitif en proportion avec les besoins réels du moment, mais aussi à une modification essentielle des différents éléments de ce projet. Le résultat final de toutes ces études fut le projet arrêté définitivement par le gouvernement (pl. 99, fig. 2), avec quelques modifications qu'y apporta M. H. Pascal, alors ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Marseille.

D'après ce projet, qui est en cours d'exécution, le nouvel établissement commercial embrasse la moitié N.-E. de la rade, située entre l'ancien bassin du Lazaret et le môle *del Sale*. La ligne droite reliant ces deux points extrêmes a une longueur d'environ 1,200 mètres, et forme l'alignement des quais. Il s'en détache 4 môles, formant entre eux 3 bassins égaux et abrités contre les vents du large par une digue extérieure et parallèle au rivage. Les bassins sont mis en communication par un large chenal, ménagé entre les têtes des môles et la digue. Enfin, une conséquence nécessaire des nouveaux ouvrages est la déviation des deux torrents, *Martesin* et *Klutsch*, débouchant dans la partie de la rade à transformer.

Voici maintenant les dimensions des éléments fournis à la navigation par le nouveau port : de vastes terrains le long des quais d'une étendue de 21.21 hectares, quatre môles assez larges pour recevoir des hangars-abris et les voies de fer et de terre convenables, un développement de quais de 2,809 mètres de longueur (sans compter la digue du large),

Digitized by Google

et enfin trois vastes bassins d'une surface totale de 39.48 hectares, pourvus d'un tirant d'eau minimum de 8m.50 au-dessous de zéro[1].

Dans l'ancienne rade, au contraire, nous trouvons un manque presque absolu de terrains le long des quais, ceux-ci d'un développement de 1,200 mètres seulement, offrant sur 13 pour 100 de cette longueur un tirant d'eau de 6 mètres, sur 37 pour 100 de 3 mètres, et sur 50 pour 100 de moins de 3 mètres. Quant aux deux bassins, il n'y a que celui du chemin de fer nommé Darsena, avec une profondeur de 7 mètres, qui permette les opérations directes du débarquement et de l'embarquement.

Le système de construction choisi par le gouvernement consiste dans l'emploi combiné d'enrochements et de blocs artificiels, formant la fondation des murs de quais (pl. 99, fig. 3 et 4). Les appareils d'amarrage, fixés aux quais, consistent dans des organeaux en fer, pratiqués dans la maçonnerie en pierre de taille et dans des bornes en fonte scellées dans le quai (pl. 99, fig. 5 à 12).

L'exécution des travaux indiqués a été confiée par l'administration de l'État impérial et royal à la Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche, par un traité à forfait s'élevant à la somme de 36,710,000 fr.

Reste à mentionner que la situation créée par l'établissement du nouveau port a pour conséquence la construction d'une nouvelle gare, en partie sur l'emplacement de la gare actuelle et en partie sur les terrains gagnés nouvellement sur la mer. Les travaux de démolition de l'ancienne gare et de construction de la nouvelle ne sont pas compris dans la somme à forfait ci-dessus mentionnée.

Vents, Profondeurs, Fond.

Voici les résultats des observations officielles, relatives aux vents régnant à Trieste :

1° Les vents Est, soufflant de terre, comme E. et E.-N.-E. (Bora), qui

1. Le zéro de l'échelle du port est la moyenne des marées basses observées à Trieste. L'amplitude moyenne de la marée est de 0m.78, elle s'élève cependant en moyenne, tous les mois une fois à 1m.10, et chaque année une fois à 1m.60. Les observations faites par la direction des travaux, pendant huit ans, ont conduit au perdant le plus bas de 0m.65 au-dessous de zéro (17 mars 1870), et au montant le plus élevé de 2m.00 au-dessus de zéro (14 octobre 1875).

Digitized by Google

se distinguent par leur violence et par leur permanence, sont prédominants dans les mois de novembre jusqu'à la fin de mars;

2° Les vents entre N.-O. et S.-E., moins violents, mais d'autant plus constants, règnent pendant la belle saison;

3° Le S.-O. (Libecchio) et S.-E. (Scilocco) sont rares, mais très-violents.

Contre les vents régnants E. et E.-N.-E. on ne peut préserver les navires que par un amarrage suffisant, comme cela se pratique du reste dans l'ancienne rade. Il est à remarquer, d'ailleurs, que ces vents ne produisent qu'une agitation très-faible de la surface de la mer.

La position de la digue est choisie de telle manière, qu'elle couvre les nouveaux bassins contre les vents du large, indiqués sous 2°, qui occasionnent une agitation souvent considérable de la mer et peuvent même devenir dangereux.

Le relevé des profondeurs opéré au commencement de 1867 a conduit aux résultats suivants :

1° Le plus grand tirant d'eau, de 16 à 17 mètres, se trouve sur l'emplacement de la digue et va en décroissant vers la côte;

2° Les profondeurs aux têtes des môles varient de $10^{m}.60$ à $14^{m}.08$, et aux angles intérieurs des bassins de $5^{m}.80$ à $8^{m}.80$, de telle sorte, que l'emplacement des môles présente des plans inclinés dont la pente maxima est de 6.6 pour 100 (Môle I) et minima 2.7 pour 100 (Môle II).

Tel serait l'état du fond résultant des sondages; mais les expériences acquises pendant la durée des travaux, savoir les glissements et avancements horizontaux des atterrissements, qui se sont produits à plusieurs reprises et sur une grande échelle, semblent permettre de croire que dans les temps reculés, le fond de la mer présentait un certain nombre d'entonnoirs de forme irrégulière, lesquels auraient été remplis dans le cours des temps par des alluvions des deux torrents Klutsch et Martesin, de manière à produire à la fin le fond à pente douce et régulière constaté par le relevé.

Les sondages pratiqués pour reconnaître la nature du terrain formant le fond, ont été poussés jusqu'à la profondeur de 20 mètres au-dessous du fond ou à celle de 33 mètres au-dessous du niveau des basses mers; — ils ont conduit au résultat suivant : le terrain est composé uniquement de vase (marne dissoute) noirâtre et liquide dans les couches supérieures, plus consistante et mêlée d'argile bleuâtre dans les couches inférieures, et se tranformant enfin, dans des profon-

Digitized by Google

deurs de 15 à 20 mètres, en argile plus ou moins compacte et contenant des traces de sable.

Les sondages n'ont pas été poussés plus loin, vu que le système employé ne demande pas à être fondé sur des points fixes. Ainsi la puissance de la couche de vase n'est pas connue aujourd'hui.

Carrières.

Le cube réclamé par les enrochements, terrassements et maçonnerie s'élève à près de 6,000,000 de mètres, dont 2/3 pour atterrissements. La fourniture à temps et d'une manière continue de quantités aussi énormes n'a pas été une des moindres tâches de la direction des travaux. On a ouvert pour cela des carrières, en partie dans des terrains marneux et en partie dans des calcaires[1]. Les premières se trouvent dans les environs de Trieste même, les autres à des distances variant de 17 à 20 kilomètres. Le nombre des carrières a été en tout de 18, dont 11 étaient déjà exploitées auparavant. Le système d'exploitation a varié suivant la nature du terrain. Dans la marne l'exploitation a pu se faire à la pioche, avec emploi des petites mines pour percer les couches transversales de grés et de schiste. Dans le calcaire on a eu d'un côté des amoncellements énormes de débris d'anciennes carrières à sa disposition, de l'autre on a exploité dans la roche vive. Dans le premier cas on n'a qu'à charger les matériaux sur waggon, pour les conduire à Trieste; dans le second on fait emploi de mines monstres, permettant l'exploitation des matériaux sur une vaste échelle[2].

Dans le tableau suivant nous indiquons les cubes de matériaux fournis par les carrières jusqu'à la fin de l'année courante.

1. La marne contient des bancs nombreux de grès d'un vert foncé, de manière à donner des terrassements contenant 20 à 30 p. 100 de pierres. Le calcaire est compacte; son poids est de 2,600 kilogrammes par mètre cube, et sa densité est = 2.16.

2. La charge de la mine est calculée à raison de 1 kilogramme de poudre (l'entreprise Dussaud ne voulait pas se servir de la dynamite), sur 3 mètres cubes de la roche vive. Cette unité a subi cependant, par rapport à l'inclinaison des couches, à l'uniformité plus ou moins grande du rocher et à la situation locale, des modifications essentielles, sans cependant dépasser le maximum de 1 kilogramme par 2 mètres cubes de pierre. L'effet atteint en réalité n'était en moyenne que de 2.05 mètres cubes de matériaux sur 1 kilogramme de poudre.

Digitized by Google

Emploi de matériaux de 1868 *à la fin de* 1876 (*en mètres cubes*).

ANNÉE.	MATÉRIAUX POUR			ENSEMBLE.	EN P. 100.
	Terrassements.	Enrochements.	Maçonneries.		
1868	109.600	64.200	3.400	177.200	4.4
1869	271.700	135.700	6.200	413.600	10.3
1870	596.800	207.800	11.800	816.400	20.3
1871	690.300	349.700	3.900	1.043.900	25.9
1872	429.900	389.100	16.800	835.800	20.8
1873	291.800	78.000	12.500	382.300	9.5
1874	143.400	5.500	»	148.900	3.7
1875	168.500	6.500	2.600	177.600	4.4
1876	26.500	»	2.000	28.500	0.7
Total...	2.728.500	1.236.500	59.200	4.024.200	100

Il résulte de ce tableau que la fourniture maxima de matériaux a été atteinte en 1871, où le cube de 1,043,900 a été employé, ce qui répond (eu égard aux 264 journées de travail dans ladite année) à un travail journalier de 4,000 mètres cubes. Cette activité, qui n'aura guère son égale dans l'histoire des travaux maritimes, n'a pu être atteinte à Trieste que grâce à la richesse du pays en bons matériaux. La diminution de la fourniture de matériaux à partir de 1872 trouve son explication dans l'ensemble des circonstances de diverse nature, dont il sera question plus tard[1].

Système de Construction.

La nature vaseuse du sol (il a été dit que les sondages poussés jusqu'à 20 mètres de profondeur ont rencontré uniquement de la vase, sans avoir atteint le terrain solide) exige l'emploi d'un système de construction qui paralyse les inconvénients résultant de la mobilité du terrain et qui garantisse la solidité des murs de quais malgré les mouvements subis.

Quand on a à construire sur un terrain vaseux, les inconvénients consistent surtout dans la difficulté de lutter contre les masses énormes

1. Pour plus de renseignements relatifs à l'exploitation des carrières, consulter les articles publiés dans le journal scientifique *Allgemeine Bauzeitung*, paraissant à Vienne, savoir :

1° *Der Betrieb der Steinbrüche in Sistiana* (années 1872 et 1874);

2° *Die Materialbezugsorte für den Triester Hafenbau* (année 1875).

Digitized by Google

en mouvement, dont les moments, les directions et les durées ne peuvent nullement être précisés. Dans ces conditions la fondation sur pilotis est exclue dès l'abord, car ceux-ci devraient atteindre de très-grandes profondeurs et ne garantiraient nullement la stabilité de l'ouvrage, vu la puissance extraordinaire de la couche de vase. D'un autre côté l'usage de la fondation pneumatique exigerait des frais excessifs par suite de la profondeur énorme à laquelle le terrain solide sera rencontré. Reste alors le seul moyen à la fois efficace et économique, consistant dans l'amélioration du terrain par l'introduction de bons matériaux afin de préparer au mur de quai une fondation solide.

Ce système, employé avantageusement dans les ports français, consiste dans l'établissement de digues sous-marines en enrochements, sur lesquelles reposent les murs de quais, par l'intermédiaire d'une fondation en blocs artificiels. Lorsqu'on a entouré le môle de ses murs, on finit par apporter des remblais ordinaires dans l'enceinte ainsi préparée. Les éléments cités sont indiqués dans le profil-type adopté par le gouvernement (pl. 100, fig. 1).

Le procédé décrit a été suivi au premier môle sans cependant conduire à de bons résultats, malgré l'emploi presque exclusif du calcaire, même pour les remblais de l'intérieur. Voici les inconvénients éprouvés :

1° Manque de résistance suffisante du corps formé par les enrochements et le mur de blocs, pour faire face à la poussée latérale exercée par le poids du remblai avançant en entier et glissant sur le fond vaseux dans le sens de l'inclinaison maxima du terrain (côté sud et tête du môle). Il en résultait une dislocation générale des alignements des murs de quais et par suite une altération considérable des dimensions primitives de l'ouvrage.

2° Pénétration de plusieurs rangées de blocs artificiels dans les enrochements par suite de l'enfoncement considérable du corps entier des remblais dans la vase. Il en est résulté un emploi de blocs artificiels de plus du double du nombre prévu par suite du remplacement des blocs descendus dans les enrochements par d'autres rangées superposées.

3° La nécessité de remanier les murs de blocs, altérés tant dans le sens horizontal, que vertical, pour rétablir d'un côté les conditions de stabilité et de l'autre les alignements perdus.

Les expériences faites au premier môle ont conduit à des modifications essentielles du système indiqué, savoir :

Digitized by Google

1° Dragage d'une cunette au-dessous des enrochements, pour les enraciner le plus profondément possible et augmenter par conséquent leur résistance contre le déplacement latéral provenant de la poussée des remblais. Le dragage, n'allant dans les deux premiers bassins qu'à 8 à 9 mètres de profondeur au-dessous de zéro, a été poussé jusqu'à 12 mètres dans le troisième bassin. Dans le but d'augmenter ladite profondeur, il a été mis au fond de la cunette de gros blocs naturels (pesant jusqu'à 4,000 kilogrammes) que leur poids a fait pénétrer dans la vase de 3 mètres encore.

2° L'établissement d'une couche générale de bons matériaux (gravier et menu calcaire) de 3 à 4 mètres d'épaisseur sur toute la largeur des môles.

3° L'augmentation des dimensions du profil des enrochements par l'élargissement de la berme et l'adoucissement du talus.

4° L'établissement d'une digue de défense (faisant suite aux enrochements) construite en matériaux de choix, c'est-à-dire en moellons de calcaire, dans le but de protéger les terrassements contre les attaques de la mer.

5° La jonction des lignes parallèles des quais longitudinaux par deux traverses construites en matériaux de choix à l'instar des digues de défense et en même temps qu'elles.

6° La construction des murs de blocs *après la terminaison des remblais.*

Ces modifications se trouvent indiquées dans les profils-types adoptés pour les deux derniers bassins (pl. 100, fig. 2 à 8).

L'introduction des dites modifications a bien eu pour conséquence l'élimination des deux inconvénients, indiqués sous 1 et 2, sans cependant pouvoir empêcher complétement l'altération des alignements des quais et par suite la nécessité du remaniement des murs de blocs. Il y a lieu de parler ici d'un autre élément favorisant encore le dérangement des alignements. C'est le dragage exécuté ultérieurement au pied des murs, pour enlever la vase soulevée par suite de l'enfoncement du corps entier des remblais. L'enlèvement de ce contre-poids venait en aide à la poussée latérale exercée par le prisme des remblais (exécuté après coup) derrière des blocs, et facilitait ainsi le mouvement des murs dans le sens horizontal. Pour diminuer autant que possible ce mouvement latéral et le transformer en un tassement vertical (nullement nuisible), une dernière modification du système a été introduite consistant dans

Digitized by Google

l'augmentation du poids du mur de blocs, non-seulement en lui superposant trois rangées de blocs dits de surcharge, mais aussi par l'établissement de contre-forts composés de quatre blocs superposés. Ces contre-forts sont placés en avant et distants de mètre en mètre (pl. 100, fig. 9 et 10). Le dit procédé, employé au troisième môle, a donné de si bons résultats, que le dragage au pieds des murs nord et sud de l'ouvrage a pu être exécuté jusqu'à 8m.50, sans avoir occasionné un ébranlement des rangées de blocs.

En résumé, les modifications introduites consistent dans le dragage d'une cunette pour la digue sous-marine, dans l'établissement d'une couche générale en bons matériaux sur l'emplacement du môle, dans l'augmentation des enrochements, dans la construction d'une digue de défense pour les remblais, et enfin, dans le changement de l'ordre d'exécution des divers travaux constituant l'ouvrage.

Ces modifications introduites aux ouvrages du deuxième et du troisième bassin ne s'appliquent pas à la digue et à la traverse (pl. 100, fig. 11 et 12). Ici le plan presque horizontal du fond, les grandes profondeurs d'eau, la symétrie du profil, l'emploi presque exclusif de blocs naturels (dans un double but de solidité et d'économie) et enfin l'exécution presque entière du corps de la digue avant la pose des blocs, ont contribué à la descente plutôt verticale de l'ouvrage, sans avoir produit des mouvements latéraux.

Exécution des Travaux.

Le système de construction mentionné dans le chapitre précédent prévoit l'exécution de quatre catégories de travaux, savoir : dragages, enrochements, terrassements et murs de quais.

Dragages. La cunette tranchée dans la vase pour loger les enrochements a reçu une largeur de 30 à 35 mètres et une profondeur de fond de 8m.50 pour le premier et le deuxième bassin, et de 12 mètres au-dessous de zéro pour les ouvrages constituant le troisième bassin. On s'est servi de dragues à godets mues par la vapeur [1].

Le dragage se faisait avec des interruptions réclamées par les circonstances locales et par la marche générale des travaux. Le cube exécuté

1. Une petite drague (à — 8m.50 de profondeur) et une grande (à — 12m.00 de profondeur) faisant des cubes de 80 et 160 mètres par heure de travail.

Digitized by Google

en six ans (1868 à 1873) s'élève à 297,300 mètres dont 65 pour 100 en 1872 avec la grande drague, allant à 12 mètres de profondeur.

Enrochements. — Les dragages et les enrochements se font pour ainsi dire à la fois, pour empêcher l'atterrissement de la cunette par l'action des vagues de la mer. Aussitôt une partie draguée, on se hâte à la combler par des enrochements. On les exécute conformément aux indications des profils-types avec des matériaux calcaires, composés de moellons (3 à 100 kilogrammes) et de blocs naturels de trois catégories (100 à 1,300, 1,300 à 4,000 et au-dessus de 4,000 kilogrammes). Il faut cependant remarquer que les blocs de première et deuxième catégorie, employés aux talus dans le premier bassin, ont été supprimés et remplacés par des moellons dans les deux autres bassins pour faciliter leur enlèvement ultérieur rendu nécessaire par suite du soulèvement de la vase (comme nous le verrons plus tard). Le versement des enrochements se fait par couches horizontales et d'égale hauteur à l'aide de chalands ordinaires à ponts ou à clapets. La pose des blocs de troisième catégorie, qui couronnent le talus extérieur de la digue, se fait par une mâture flottante avec grue à pivot.

Terrassements. — Un cube de plus de 4 millions de mètres est réclamé par les terrassements qui se font par terre (wagons à bascule et camions à chevaux), et par mer (chalands à clapets et petites barques à bras d'hommes). Les matériaux se composent sur 2/5 de produits de terrains marneux et chisteux, et sur 3/5 de moellons calcaires et de gravier. Les premiers servent aux remblais proprement dits dans l'intérieur des môles et derrière les quais de rive, les derniers sont employés à la couche générale exécutée sur l'emplacement des môles, et aux digues de défense.

Les phénomènes qu'on observe d'ordinaire lors de l'exécution de remblais sur un fond mobile, savoir : mouvements verticaux et horizontaux des matériaux, et soulèvement des masses voisines, qui ne sont pas chargées, se présentent à Trieste sur une grande échelle en rapport avec la puissance extraordinaire de la couche de vase. Des mouvements verticaux, s'étendant sur une surface de 8 à 12,000 mètres carrés et correspondant à un cube enfoncé de 6 à 10,000 mètres, se sont produits à plusieurs reprises dans l'espace de trente-six à quarante-huit heures à l'intérieur des môles en construction; — sans parler des tassements de moindre importance, qui se présentent journellement pendant la première période des remblais (encore frais) et qui exigent le

Digitized by Google

remaniement continuel des voies de fer. Le relevé de la vase en avant des ouvrages s'étend à des distances de :

60 à 100 mètres dans le premier bassin, et
85 à 175 mètres dans le deuxième bassin.

Divers moyens ont été essayés dans le but de diminuer la tendance des masses de remblais au glissement. Ces moyens sont : exécution des remblais par couche de faible hauteur et uniformément réparties, interruption temporaire et continuation lente du travail, augmentation des dimensions des digues de défense, établissement des digues parallèles et des digues transversales, etc. Mais tous ces expédients ont été reconnus insuffisants, capables au plus de retarder, mais non de diminuer les mouvements horizontaux. Il faut que les mouvements produits par un dérangement continuel de l'équilibre s'effectuent et qu'on laisse aux enrochements et aux terrassements le temps nécessaire pour qu'ils subissent leur tassement et acquièrent enfin la solidité voulue. C'est en agissant dans cet ordre d'idées qu'on ne procède à la pose des blocs que trois ans après avoir commencé les enrochements, qui doivent leur servir de base.

Murs de quais. — L'établissement des murs de quais se fait, comme il a été dit, à l'aide de blocs artificiels, fabriqués sur terre[1]. Ils sont posés (par une mâture à vapeur) en parpaing, à joints contrariés sans mortier, sur une hauteur de 5m.50 au-dessous du niveau des basses mers. En tenant compte du tassement de 0m.50, vérifié par l'expérience, on arrive à la cote de 6 mètres répondant à quatre rangées de blocs de 1m.50 de hauteur. Le mur proprement dit étant terminé, on met les rangées de blocs en surcharge et celles en contre-forts. La pose de ces divers blocs étant terminée, on laisse passer un ou deux ans au besoin pour observer les mouvements éprouvés par les murs. Si pendant ce temps les résultats obtenus sont satisfaisants, on procède à l'enlèvement des blocs en surcharge et des contre-forts, pour commencer la maçonnerie des quais en pierre de taille. Mais en général les choses ne prennent pas une marche si régulière, et l'on est forcé de remanier

1. Les blocs ont un cube de 11m.1 (1.50×2.00×3.70) et de 9m.9 (1.50×2.00×3.30). Ils sont fabriqués en maçonnerie ordinaire de moellons calcaires avec mortier à chaux hydraulique du Theil (France, Ardèche). Le mortier est composé de 1 mètre cube de sable pour 362 kilogrammes de chaux et 0.271 mètres cubes d'eau de mer. On doit laisser sécher les blocs fabriqués au moins trois mois avant de les employer.

Digitized by Google

une grande partie des murs sortis de leur alignement. Il en sera question plus tard.

Le développement annuel des diverses catégories de travaux dans l'espace de neuf ans se trouve indiqué dans le tableau suivant.

Exécution des travaux en mètres cubes de 1868 *à la fin de* 1875.

Année.	Terrassements.	Enrochements.	Murs de Blocs.	Murs de Quais.	Dragages.	Ensemble.	P. 100.
1868	109.600	64.200	»	»	»	173.800	3.5
1869	271.700	135.700	10.200	»	17.500	435.100	8.9
1870	596.800	207.800	20.200	»	44.400	869.200	17.7
1871	690.300	349.700	5.200	»	23.800	1.069.000	21.8
1872	429.900	389.100	16.500	»	205.800	1.041.300	21.2
1873	291.800	78.000	11.700	9.900	99.400	490.800	10.0
1874	143.400	5.500	5.500	9.400	123.300	287.100	5.9
1875	168.500	6.500	6.000	1.800	158.600	341.400	7.0
1876	26.500	»	5.600	»	164.900	197.000	4.0
Total.	2.728.500	1.236.600	80.900	21.100	837.700	4.904.700	100

Ce tableau ne contient pas l'année 1867, vu que sa production est insignifiante par suite des travaux préparatoires nécessités pour l'ouverture des carrières, acquisition du matériel de transport par mer et par terre, etc. Il résulte des chiffres des années suivantes que l'activité annuelle a augmenté dans une proportion si rapide, qu'elle atteignait déjà dans la quatrième année le sextuple de la première.

La diminution de la production annuelle à partir de 1872 trouve son explication dans l'espace restreint de l'ancienne rade et dans le ralentissement nécessité par la mauvaise qualité des terrains formant le fond de la mer.

Vu les surfaces d'eau insuffisantes et le manque de développement des quais dans l'ancienne rade, le Gouvernement était forcé de réserver les deux bassins destinés à être remblayés (l'un devant les magasins du chemin de fer et l'autre entre les môles Klutsch et Sale), à la navigation jusqu'à ce que celle-ci trouvât dans le nouveau port l'équivalent des surfaces d'eau qu'on lui enlevait. Cette restriction a eu pour conséquence deux graves inconvénients qui ont retardé considérablement l'avancement harmonique des travaux en cours d'exécution. Le premier concerne l'établissement rendu très-onéreux du troisième môle par suite de la nécessité de laisser une passe ouverte pour l'entrée des

Digitized by Google

grands bateaux à vapeur dans la Darsena. Le second, plus grave encore, consiste en ce que, pour les ouvrage formant le troisième bassin, on n'a pu jusqu'ici exécuter que les travaux sous-marins, c'est-à-dire les enrochements, et cela même seulement jusqu'à la hauteur de 8 mètres au-dessous de la basse mer, afin de conserver le tirant d'eau réclamé par les navires.

Mais, malgré la gravité des deux inconvénients précités, le retard qu'a subi la marche des travaux à partir de 1872, tient plus encore à la nature vaseuse du fond qui a occasionné des travaux très-longs et ne rentrant nullement dans le programme primitif.

Pour le faire comprendre nous rappelons à ce sujet les mouvements énormes, subis par la masse entière des remblais. Ces mouvements, causés par la mobilité du fond avaient pour conséquence une altération considérable des alignements et du niveau des murs de blocs et une diminution notable des profondeurs primitives dans les bassins.

C'est la reconstruction de ces murs et le rétablissement des profondeurs d'eau qui ont occasionné des travaux imprévus aussi longs que difficiles.

Reconstruction des murs de blocs. — Les murs du premier môle et du quai de la première rive étant construits d'après le profil du Gouvernement (pl. 100, fig. 1), ont subi les plus grands dérangements, tellement qu'on a été forcé de les démolir et de les reconstruire une deuxième fois (sur quelques longueurs même une troisième fois), presque sur toute leur étendue. L'application aux murs du deuxième môle des modifications spécifiées dans le deuxième chapitre, a présenté le double avantage, d'abord de n'employer en général que quatre rangées de blocs pour l'érection du mur (tandis que au premier môle on en avait employé successivement jusqu'à 8 à 10), et ensuite de ne pas dépasser les dimensions fixées par le projet. Il en est résulté que les travaux de reconstruction ont été limités à de moindres longueurs et, ce qui est plus important, à de plus faibles profondeurs.

La reconstruction, c'est-à-dire le remaniement des murs, exige une grande dépense de temps et de frais. Son importance varie suivant le degré des déformations subies par les murs. Le travail consiste dans la démolition et dans le rétablissement du mur, en avançant ou en reculant les diverses parties suivant les exigences du nouvel alignement. Les opérations à exécuter sont les suivantes :

1° Enlèvement des blocs en surcharge ;

Digitized by Google

2° Déblaiement des remblais à l'arrière des murs jusqu'au niveau de l'eau et sur une largeur d'environ 15 mètres;

3° Démolition du mur jusqu'à la rangée à remanier en enlevant bloc par bloc à l'aide du ponton et du scaphandre;

4° Dans le cas de remaniement complet, c'est-à-dire jusqu'à la première rangée (6 mètres au-dessous de zéro), rétablissement de l'assise (à — 5^{m}.5) par la drague et égalisage au scaphandre;

5° Construction du mur de blocs de la manière ordinaire avec surcharge et contre-forts.

L'opération coûtant le plus de dépense et le plus de temps est le remaniement du mur de blocs. Il résulte des expériences acquises que l'enlèvement et la nouvelle pose d'un bloc (abstraction faite de tout dragage) exige quatre fois le temps nécessaire à la pose dans les circonstances ordinaires. Il est donc évident que les travaux de reconstruction forment l'élément le plus essentiel du retard de l'avancement total du port. Ces travaux sont très-considérables dans les deux bassins (pl. 99, fig. 13 à 23 et pl. 100, fig. 14). Les profils représentent les cas de reconstruction les plus intéressants, dont cinq concernent des parties deux fois reconstruites.

La longueur des murs de quais et môles reconstruits est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Murs de blocs reconstruits pour cause de tassements (en mètres).

DÉSIGNATION DU MUR.	MOLE I.		RIVE I.		MOLE II.		MOLE III.	
	Construit.	Reconstruit	Construit.	Reconstruit	Construit.	Reconstruit	Construit.	Reconstruit
Quai Nord...	208	54	»	»	198	170	215	66
Quai de tête..	104	58	268	310	83	83	80	60
Quai Sud....	225	166	»	»	198	175	100	»
Total.....	537	278	268	310	479	428	395	126
Longueur en pour 100....	100	52	100	116	100	89	100	32

Les murs de blocs nouvellement établis sont soumis aux observations les plus soigneuses relativement aux tassements verticaux pendant plus d'un an. Lorsque tout mouvement a cessé, on procède à l'enlèvement

Digitized by Google

des blocs de surcharge et de contre-forts et on observe encore la conduite des murs pendant quelques mois, avant de commencer la maçonnerie en pierre de taille.

Approfondissement des bassins. — Nous savons que les mouvements produits par les remblais ont pour conséquence, non-seulement un soulèvement des enrochements au pied des murs, mais aussi une altération complète des anciennes profondeurs dans les bassins jusqu'à de très-grandes distances.

Or, les profondeurs arrêtées pour les bassins du port sont : 6 mètres au pied et 8^{m}.50 à la distance de 7 mètres de l'arête supérieure des blocs (pl. 100, fig. 13). Il s'agit alors de créer ce nouveau profil en draguant tous les points ayant des profondeurs au-dessous de la limite indiquée (pl. 100, fig. 15, 16, 17). En consultant la dite feuille, qui indique l'état des profondeurs dans les bassins avant et après le dragage et la série des profils (pl. 99, fig. 24 à 29), on reconnaîtra facilement l'importance du travail et les dangers de son exécution. En effet, il est certain que le poids de la masse énorme d'enrochements et de vase amoncelée à l'avant des murs forme un contre-poids puissant et que par conséquent son enlèvement ne pourra se faire que fort prudemment, pour ne pas altérer l'équilibre établi et provoquer ainsi un nouveau mouvement du mur et des remblais par derrière. C'est dans cet ordre d'idées qu'on s'est borné d'abord à l'établissement d'une profondeur de 6 mètres dans l'étendue entière des bassins, en commençant par les surfaces le long des môles et en finissant avec celles le long des rives. Après la création de 6 mètres (réclamant un assez long temps) on est avancé partout à 7 mètres, et enfin à 8^{m}.50. Malgré ces précautions on n'a pu empêcher toujours un nouvel avancement des enrochements (non encore suffisamment consolidés), et par suite du mur de blocs superposé. On a ainsi contribué en partie aux reconstructions décrites ci-dessus. Toutefois il est permis de douter qu'on eût pu, par une marche plus lente encore qui était du reste exclue par le délai fixé pour l'achèvement[1], éviter lesdits avancements.

La difficulté mécanique que présente l'exécution du dragage consiste dans la nature différente des matériaux formant la masse à enlever. Cette masse est formée par un mélange de vase, de gravier, de moellons et de gros blocs naturels (jusqu'à 10,000 kilogrammes). Aussi est-on

1. Le délai d'achèvement fixé primitivement à la fin de 1877 a été prolongé de cinq ans par le gouvernement.

Digitized by Google

forcé d'avoir recours, en dehors des dragues à godets cités plus haut, à des dragues à cuiller et même au scaphandre, ces engins étant appelés à rendre des services, lorsque par suite de la présence de gros blocs les dragues à godets viennent à perdre leur efficacité, ce dont il résulte une perte de temps considérable, de même qu'une réduction notable du rendement des outils employés[1].

Les travaux de l'approfondissement ont été commencés dans le premier bassin en mai 1872, pour être terminés à la fin de 1875. Le dragage dans le deuxième bassin a commencé en décembre 1872, sans avoir été conduit à fin jusqu'à présent. Voici maintenant le cube des matériaux enlevés par les engins cités tout à l'heure.

Cube dragué (en mètres) dans les deux bassins de 1872 jusqu'à la fin de 1876.

Année.	Vase.	Gravier.	Moellons.	Blocs naturels.	Total.	En p. 100.
1872	8.100	2.000	1.400	200	11.700	2
1873	41.400	18.200	20.300	2.000	81.900	15
1874	68.900	15.500	35.700	3.200	123.300	23
1875	83.600	34.800	38.000	2.200	158.600	29
1876	78.500	44.400	40.300	1.700	164.900	31
Total....	280.500	114.900	135.700	9.300	540.400	100
En p. 100.	52	21	25	2	100	»

Les matériaux pierreux dragués dans les deux bassins ont été réemployés dans les travaux, savoir : 200,000 mètres cubes pour terrassements, et 9,300 mètres cubes de gros blocs pour l'exhaussement du revêtement extérieur de la digue du large.

État des Travaux, fin 1876.

L'état actuel des divers éléments constituant le nouveau port est le suivant :

Digue du large. — Cet ouvrage a été commencé en 1868 et terminé en août 1874.

1. Pour plus de renseignements relatifs au matériel employé pour les travaux, consulter les articles *Der Hafenbau in Triest*, publiés dans le journal scientifique *Allgemeine Bauzeitung*, Vienne, 1876.

Digitized by Google

Premier bassin. — Il a été exécuté en huit ans et ouvert à la navigation en décembre 1875. La forme irrégulière de ce bassin tient à la position prise par les enrochements, par suite des mouvements des remblais, dont il a été question à plusieurs reprises. Ce n'est que par symétrie qu'on a donné une direction analogue au quai de la deuxième rive.

Il y a lieu de faire remarquer ici, que les ouvrages terminés ont subi depuis leur achèvement des tassements généraux, c'est-à-dire un abaissement lent et plus ou moins uniforme de leur surface entière, sans qu'il se produise des fissures ni dans la maçonnerie, ni dans les remblais.

Ces tassements verticaux s'élèvent en moyenne :

A la digue (terminée en 1874), à..	0^{m}.45
Au môle premier (terminé en 1875), à.	0 .27
Au quai de rive première (terminé en 1875), à.	0 .22
Au môle deuxième (terminé en 1875), à. . . .	0 .22

Ils augmenteront encore dans le cours des années suivantes tellement qu'on pourrait être forcé de relever les murs de quai par l'addition rétrospective d'une ou deux assises de pierres de taille.

Deuxième bassin. — Ici le dragage réglementaire (— 8^{m}.50) est achevé le long du deuxième et du troisième môle au pied des murs de blocs, dont l'établissement avec surcharge et contre-forts est terminé.

Ladite profondeur n'est pas encore atteinte le long de la deuxième rive, où l'on s'occupe dans ce moment de la pose des blocs. Il est à remarquer que les remblais derrière la deuxième rive ont subi des avancements bien plus grands que ceux de la première rive. Cela tient à la nature encore plus désavantageuse du fond dans le deuxième bassin. La profondeur de 8^{m}.50 sera exécutée le long de la rive deuxième après coup, c'est-à-dire après l'établissement des murs de blocs avec surcharge et contre-forts et après le complétement des remblais à la hauteur de 3^{m}.16.

Troisième bassin. — Vu que ce bassin, formant partie de l'ancienne rade, sert encore à la navigation, il n'y a de fait que les travaux sous-marins, c'est-à-dire les enrochements jusqu'à — 8 mètres (terminés fin 1872). On fait dans ce moment les préparatifs pour commencer le remblaiement de la Darsena (bassin dit du chemin de fer), les navires

Digitized by Google

qui s'en sont servis jusqu'ici, trouvant place dans le premier bassin du nouveau port.

Torrents Martesin et Klutsch. — La déviation desdits torrents forme une partie intégrale des travaux du port. Celle du Martesin, exécutée sur une longueur de 720 mètres, a été terminée en juin 1873. L'égout Klutsch n'a pas pu être commencé par la raison que sa déviation traversera la Darsena, réservée jusqu'aujourd'hui au service de la navigation.

Nouvelle gare. — La plus grande partie de la nouvelle gare se trouvant sur les remblais du nouveau port, sa construction n'a pu être commencée avant la fin de 1873. Il s'agit :

1° De l'abaissement du niveau de la gare de $10^{m}.12$ (hauteur actuelle) à $3^{m}.16$ au-dessus de zéro (niveau du port);

2° De la construction des bâtiments nécessaires pour le service des voyageurs et des marchandises; tous les bâtiments actuels sauf les grands magasins le long de la Darsena devant être démolis.

Voici maintenant l'état actuel de ces divers travaux :

a) Déblaiement exécuté jusqu'à la concurrence de 200,000 mètres cubes;

b) Gare à machandises terminée en partie et mise en exploitation en novembre 1874.

c) Remise de locomotives mise en activité en avril 1875;

d) Gare à voyageurs et ateliers en cours d'exécution.

Il y a lieu de toucher ici à la question relative à l'aménagement du port. Cette question ne pourra être résolue d'une manière définitive, tant que celle de l'abolition du port franc (en perspective) ne sera pas décidée. Ainsi les voies de fer et les routes établies aujourd'hui aux alentours du premier bassin ne peuvent avoir qu'un caractère provisoire, d'autant plus que la gare même n'est pas encore complétement terminée.

Contrôle et Direction des Travaux.

Les ordres et dispositions décrétés par le ministère impérial et royal du commerce à Vienne, relativement aux travaux du port, sont transmis à l'inspection des travaux par l'intermédiaire du gouvernement maritime (k. k. Seebehörde), résidant à Trieste. Ce sont les organes de ladite

Digitized by Google

autorité, qui excercent le contrôle sur l'exécution des travaux, en conformité avec les conditions du traité en vigueur.

L'exécution de toutes les opérations relatives aux travaux du port, tant sur les divers chantiers à Trieste que dans les carrières situées en dehors, se fait d'après les dispositions arrêtées par l'inspection des travaux se trouvant sous les ordres de la direction générale à Vienne. L'inspecteur général des ponts et chaussées à Paris, M. H. Pascal, ingénieur-conseil de la Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche pour le port de Trieste, y passe deux fois par an, pour prendre connaissance de l'avancement des travaux[1].

Les travaux, commencés fin 1867 par M. E. Pontzen, ont été repris en mai 1869 par M. F. Bömches, qui les dirige depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, aidé par l'ingénieur de section, M. A. Fraisse, et les ingénieurs ordinaires, MM. J. Krause et C. Perinello.

Les entrepreneurs ont été : MM. Dussaud frères (France), de Mauser (Autriche) et Willy (Suisse). A partir de 1874 les travaux ont été exécutés *en régie* par la Compagnie du Sud, sauf les dragages, qui restent toujours confiés aux soins de l'entreprise Mauser.

1. Les nouvelles fonctions de Secrétaire général du ministère des travaux publics, auxquelles M. Pascal a été appelé récemment, l'ont obligé de donner sa démission d'ingénieur-conseil de la Compagnie pour les travaux du port.

Digitized by Google

NOTES

SUR LES

RAILWAYS ET LA MARINE

DE LA GRANDE-BRETAGNE

PAR M. JULES GAUDRY.

Quatre ingénieurs français[1] viennent de faire en Angleterre et en Écosse un voyage d'étude qui a été trop rapide pour laisser prendre autre chose que des notes sommaires; elles permettent du moins de préciser l'état présent et les tendances actuelles des praticiens anglais dans deux grandes industries : celle des railways et celle de la marine commerciale à vapeur. Tel est l'objet des deux notes qui vont suivre.

C'est en grande partie à la complaisance de divers membres de la Société des Ingénieurs civils de Londres, et particulièrement à M. Ch. Manby, leur vénéré secrétaire général, que nous avons dû notre entrée dans les usines et les facilités qui nous ont permis de poursuivre nos études. Nous leur avions été recommandés au nom du bureau de la Société des Ingénieurs de Paris, c'est elle qu'ils ont voulu honorer en nous en accueillant.

I

RAILWAYS DE LA GRANDE-BRETAGNE.

Celui qui visite en ce moment la Grande-Rretagne, n'y étant pas allé depuis dix ans, peut croire au premier abord que rien n'est changé sur les railways. C'est la même voie à double champignon, coussinets

1. MM. Plocq et Guislain, ingénieurs du port de Dunkerque, M. de Quillacq, constructeur de machines à Anzin, et M. Jules Gaudry, ingénieur aux chemins de fer de l'Est.

Digitized by Google

d'attache et coins de bois. Ce sont les mêmes formes extérieures de locomotives, les mêmes gares, les mêmes ateliers de construction et, dans l'ensemble, les mêmes procédés de travail parfois si différents des nôtres.

Mais, en regardant de près les détails, on ne peut se méprendre aux profondes études que les Anglais poursuivent chaque jour avec leur proverbiale patience, et on ne saurait trop engager nos praticiens à aller en Angleterre examiner plus attentivement que jamais l'œuvre de ce peuple de travailleurs et de producteurs pratiques, bien qu'assurément tout ne soit pas applicable à nos mœurs.

Dans une communication récente M. de Coëne a entretenu la Société des gares anglaises et de leurs docks annexes, sans omettte la fameuse gare du Midland-Railway, à Londres, dite de Saint-Pancrace, gare à deux étages, dont la halle supérieure longue de 210 mètres est formée d'arceaux en treillis sans tirants et d'une seule portée de 73 mètres d'ouverture; sa façade, l'un des plus beaux monuments de Londres, est un merveilleux exemple de ce qu'on peut faire avec de la brique, du fer et un peu de pierre.

La nouvelle gare que l'on construit à Glascow, mais en pierre de taille, sera du même type et elle égalera celle de Saint-Pancrace.

La plupart des gares anglaises ont été pourvues de façades monumentales d'un beau et grand caractère, on a fait aussi des ponts très-remarquables, aussi bien pour traverser les rues dans les villes que pour franchir les fleuves.

En général, l'architecture a fait chez les Anglais de très-grands progrès. Ils n'ont peut-être pas de style à eux, mais ils excellent à s'approprier tous les genres : le gothique, le grec, l'oriental, etc. Leurs villes abondent maintenant en splendides édifices publics ou privés, dont la touche artistique ne peut être contestée. Il y a quinze ans, M. Hittorff, de l'Académie française et membre de la Société des Ingénieurs, signalait à l'attention les efforts désespérés des Anglais, pour devenir artistes et ne plus laisser aux Français le monopole du goût; nous avons d'autant plus à les craindre à cet égard, qu'ils excellaient déjà dans l'art de faire grand et de produire ces ensembles majestueux et pittoresques qui frappent à première vue. Les gares anglaises ont heureusement bénéficié de ces progrès.

Des idées nouvelles apparaissent également dans le mouvement, le contrôle et la police de ces mêmes gares. On tend à renoncer à ces

Digitized by Google

anciens usages dont la liberté absolue était le caractère, et à se rapprocher du système français avec ses barrières et ses consignes. Les gares à marchandises étaient déjà peu accessibles à ceux qui ne pouvaient pas, à la porte, exciper d'une affaire précise; les gares à voyageurs ne sont plus, comme autrefois, des places publiques, où l'on circulait comme on voulait sous sa propre responsabilité.

C'est sans doute un bien pour l'ordre en gare, mais à un point de vue plus général, il ne faut peut-être pas en féliciter les Anglais : ils ont dû leur sage pratique de *self-governement* à l'absence de cette tutelle publique, où d'autres peuples ont appris à ne se conduire qu'en donnant la main à l'autorité. Si les créateurs de nos chemins de fer, hommes d'un esprit si élevé et si libéral, avaient pu deviner quelle influence ils auraient sur les mœurs, très-certainement ils les eussent organisés de manière à nous habituer à savoir voyager tout seuls, à nous gouverner nous-mêmes, à prendre plus d'initiative, à moins craindre notre responsabilité, de même que nous avons appris par la ponctualité des chemins de fer à mettre dans notre vie domestique une exactitude autrefois inconnue, et que nous avons appris à respecter nos jardins publics sans grilles et sans factionnaires.

Malheureusement il est trop tard. On est habitué aux chemins de fer avec leur discipline. On a échoué quand on a voulu réagir, et au lieu d'imiter les Anglais, ce sont ceux-ci qui nous imitent.

Mais ce qui est chez eux plus merveilleux que jamais, c'est le calme dans les manœuvres, l'embarquement et la sortie; c'est la prodigieuse célérité avec laquelle tout le mouvement s'opère. Au *Métropolitain* les stations sont de 30 secondes pendant lesquelles parfois des centaines de voyageurs entrent ou descendent; pas de cris, très-peu de coups de sifflet, quand il se peut, rien que des ordres brefs, des signes, des avis sur pancartes; mais une excessive sévérité des agents ou des policemans contre toute apparence de tumulte, bruit ou poussée. Car il y a en Angleterre des turbulents comme partout, et il n'est pas vrai que nous soyons d'une nature plus indocile qu'autre part.

Dans toutes les grandes gares on continue l'usage si commode de couvrir en vitrages les cours de départ et d'arrivée. Enfin les gares anglaises ont une particularité souvent relatée et sur laquelle on ne saurait trop revenir : c'est la multiplicité sous toutes les formes des appareils mécaniques pour les manœuvres et les manutentions.

C'est d'ailleurs aujourd'hui la pratique générale en Angleterre, même

Digitized by Google

dans les travaux de voirie et le bâtiment : rien n'est plus curieux en ce moment que l'ensemble des ascenseurs et des grues à chariot installés en tous sens au chantier de construction du nouveau palais de la cité, près de *Temple bar*.

On peut dire qu'en Angleterre la main de l'ingénieur civil se sent partout. Les hôtels pour les voyageurs ont jusqu'à des puits artésiens et des machines à vapeur. Empruntant aux railways le principe du roulement sur métal pour diminuer la résistance à la traction, les villes n'ont plus seulement des tramways, on a établi dans les rues en pente une double ligne de dalles en fonte pour la montée de toutes voitures, ce qui n'est d'ailleurs qu'une réminiscence des anciens Romains encore commune en Italie, sinon avec la fonte du moins avec de longues dalles de pierre dure.

La voie des railways anglais est bien connue. Nous avons déjà dit que son système général de rails à double champignon, avec coussinets de fonte et coins de bois n'avait pas varié : dans notre parcours circulaire de 2,000 kilomètres, jusqu'en Écosse, nous avons à peine rencontré quelques sections courtes de voie Vignole qui ne semblaient guère exister qu'à titre d'essai. On nous a parlé de rails longs de 45 pieds, mais nous ne les avons pas vus. Par contre nous avons remarqué que les voies triples et même plus que quadruples s'étendent parfois jusqu'à une grande distance du point de départ sur les lignes principales.

Dans les gares, les quais à niveau des voitures continuent à être généralement usités.

L'une des installations qui frappent le plus l'étranger sur les railways de la Grande-Bretagne, c'est ce puissant et uniforme ensemble de sémaphores et de changements de voie, dont tous les leviers de manœuvre sont réunis méthodiquement dans une vigie élevée, vaste et même confortable; là opère un agent presque d'ordre supérieur, qui n'a rien de commun avec notre humble aiguilleur, et qu'on peut comparer au pilote d'un vaisseau toujours attentif à sa barre, où il fait *le quart* à tour de rôle avec son second, de manière que la fatigue n'affaiblisse jamais l'attention.

Nous arrivons au matériel roulant : les locomotives anglaises ont affecté longtemps une grande variété de systèmes; chaque construction se personnifiait au moins dans un type. Aujourd'hui il existe une

Digitized by Google

forme et des dimensions traditionnelles dont on paraît ne plus vouloir sortir, et ce n'est que dans le détail qu'on trouve à étudier des agencements spéciaux.

Pour les trains de marchandises, c'est la locomotive à 6 roues couplées de 5 pieds de diamètre. On sait qu'on ne connaît pas, en Angleterre, nos immenses trains, non plus que nos lentes marches et nos longues stations; il faut largement appliquer aux transports des marchandises la maxime : que l'Anglais est toujours pressé.

Pour le service express des voyageurs, le Great-Western-Railway a encore ses gigantesques locomotives, comme il a conservé sa large voie Brunel, combinée, il est vrai, avec la voie de jauge ordinaire par l'intercalation d'un troisième rail.

Sur les autres lignes, on voit également les locomotives grand-rapides à roues libres bien connues de Strurrock, de Crew, du Calédonian, dont quelques-unes portent une date de construction récente, d'où on peut conclure que le principe n'est pas abandonné.

Néanmoins, la tendance générale paraît être de n'avoir plus pour le service des voyageurs qu'un seul type, celui de la locomotive à 4 roues couplées d'environ 6 pieds de diamètre et grand empâtement suivie d'un immense tender, si ce n'est pour les petits parcours où l'on emploie les *tank-engines*, également à 4 roues couplées, souvent munies, en outre, à l'arrière du foyer, de 4 petites roues porteuses articulées en arrière-train mobile ou *bogie*.

Résumant les données d'un nombre suffisant de machines de toutes classes, on peut fixer comme il suit les dimensions classiques de la locomotive anglaise, celles des voyageurs et des marchandises ne différant plus que par le diamètre des roues et le nombre de celles qui produisent l'effort moteur :

1° Poids en ordre de marche : on remarque à cet égard une assez grande divergence : des locomotives ne pèsent que de 33 à 35 tonnes en répartition sensiblement égale sur les 3 essieux; d'autres pèsent, nous a-t-il été assuré, près de 40 tonnes, sans être en apparence plus volumineuses, mais en raison de l'épaisseur de 15 millimètres donnée aux tôles (de Lowmoor ou Bowling), et de la constitution robuste du cadre à double longeron, du mécanisme, etc.

Au-dessus de ces proportions, les ingénieurs anglais disent que la locomotive n'est plus maniable et gouvernable, qu'elle n'est plus le *passe-partout* voulu pour la pratique courante, et ils sont très-sévères

Digitized by Google

contre ce qu'ils appellent les locomotives monstres du continent, si péniblement relevées quand elles déraillent.

2° Les cylindres des locomotives anglaises ont les nombres ronds de 17 ou 18 pouces anglais sur 2 pieds de course, soit en mesures françaises :

Diamètre du piston.	0^m,431 et 0^m,457.
Course.	0^m,609

3° Suivent les proportions fondamentales de la chaudière pour la pression de 9 à 11 atmosphères :

Diamètre du corps tubé.	4 pieds =	1^m,22
Tubes : nombres.	200 à 220	
Longueur : 10 à 11 pieds, soit.	3^m,047 à 3^m,352	
Diamètre extérieur.	43 millimètres.	
— intérieur.	38 —	
Foyer : longueur, 5 pieds 1/2. . . =	1^m,67	
— largeur, 3 pieds 1/2. . . . =	1^m,06	
— hauteur, 5 pieds 1/2. . . . =	1^m,67	
Surface de chauffe du foyer en nombres ronds.. .		10^{mq},00
— des tubes..		100 ,00
Total.		110^{mq},00

Surface de la grille. . . . . 1^{mq},60 à 1^{mq},70.

On rencontre, il est vrai, quelques locomotives à longs foyers de 2 mètres, peu profonds, mais ils sont manifestement exceptionnels, et les rapports ci-après peuvent être regardés comme les moyennes classiques dans les ateliers anglais :

1° La surface de chauffe des tubes égale dix fois environ celle du foyer, et réciproquement le foyer égale le dixième de la surface des tubes, ceux-ci ayant une longueur de 80 à 90 fois leur diamètre intérieur.

2° La grille a aussi son rapport donné avec la section totale des tubes mesurée à l'intérieur, celle-ci étant de 0^{mq},33 à 0^{mq},36 ; on voit que la grille égale environ cinq fois cette section des tubes, et s'il est vrai que la consommation moyenne des locomotives anglaises puisse être évaluée en nombre rond à 7 kilogrammes de houille par kilomètre, soit à 420 kilogrammes par heure pour une vitesse de 60 kilomètres, on

Digitized by Google

trouve que les proportions de la grille correspondent en nombre rond à 240 kilogrammes de houille brûlée par mètre et par heure.

Après avoir cherché à résumer les dimensions fondamentales de la locomotive actuelle en Angleterre, nous préciserons, comme il suit, ce qui caractérise sa forme et sa disposition générale :

1° Répulsion contre les porte-à-faux du foyer et des cylindres, et grand écartement des essieux extrêmes porté à 5 mètres et au delà; vaste base, disent les Anglais, ce qui a nécessité des agencements très-ingénieux pour permettre un certain déplacement des essieux dans les courbes, lesquelles en Angleterre sont d'ailleurs rarement à petit rayon sur les grandes lignes.

2° Bien que les locomotives grand-rapides à roues motrices libres de Crew et du Calédonian aient encore des cylindres extérieurs, on peut dire cependant que les cylindres intérieurs, c'est-à-dire placés entre les roues dans le bas de la boîte à fumée, sont aujourd'hui la règle anglaise, et par conséquent l'essieu coudé pour les roues motrices ne soulève plus d'objection.

Il y a moins d'accord sur les cadres formés par les longerons, lesquels sont quelquefois simples, comme en France, mais le plus souvent multiples en dedans ou en dehors des roues.

Même désaccord dans les locomotives à 4 roues couplées pour le choix des roues extrêmes, unies par les bielles extérieures aux roues motrices; mais nous avons reconnu dans notre parcours que les roues d'arrière portant le foyer étaient le plus souvent celles qu'on accouple.

3° Toutes les locomotives anglaises se distinguent par le très-facile accès du mécanisme pour la visite et l'entretien, grâce au relevage du corps tubé de la chaudière, qui n'a d'ailleurs pas plus de 4 pieds, soit $1^{m},23$ de diamètre; dût la cheminée être très-courte, et grâce aussi à la courbure vers le sol des longerons, comme dans nos nouvelles locomotives du Chemin du Nord, lesquelles reproduisent généralement ce que les Anglais appellent leurs idées.

4° Répulsion toujours aussi vive contre la pose à l'extérieur des tuyaux, tiges, boîtes à sable ou à prise de vapeur, etc.

En Angleterre, la locomotive est un monument dont rien d'étranger ne doit rompre les lignes naturelles. Le dôme de vapeur et la cuvette des soupapes de sûreté sont acceptés; mais les conduites de vapeur pour l'admission et l'émission sont, comme primitivement, dans la

Digitized by Google

boîte à fumée; le régulateur et sa tige sont dans l'intérieur de la chaudière; les sablières sont dissimulées dans l'entre-deux du double longeron ou dans les couvre-roues.

Les giffards eux-mêmes, partout substitués aux anciennes pompes alimentaires, sont de très-petits appareils qu'il faut chercher au bas du foyer. Ils ne portent plus le nom de l'inventeur français, on les nomme, comme en Allemagne, des injecteurs Friedman.

5° Pour abriter le mécanicien en marche, on a adopté partout, suivant le goût local beaucoup plus qu'en raison du climat, tantôt un simple écran, tantôt la guérite complète d'Allemagne et d'Amérique.

6° La houille crue est le seul combustible que nous ayons vu sur les locomotives dans notre parcours, le Métropolitain excepté. Nous n'avons vu de briquettes nulle part. La houille ordinairement brûlée sur les chemins de fer de la Grande-Bretagne est du genre Cardiff en gros blocs, cassant en prisme, donnant peu de poussière, ne salissant pas la main et ne produisant, pour ainsi dire, pas de fumée, en sorte qu'il reste peu de ces fumivores qu'on avait adoptés au début de la substitution de la houille au coke.

7° Les locomotives anglaises avaient autrefois un luxe de cuivre poli, contre lequel on a réagi comme il a été fait de suite en France; mais, ce qui leur est resté, c'est la peinture poncée et le vernis soigné de tout ce qui se voit, et n'est pas artistement fini à la lime.

La propreté en service, comme au dépôt, est extrême.

« Quand une machine est propre et bien agencée pour la visite, « nous disait un des grands maîtres de l'industrie anglaise, le con- « ducteur, l'inspecteur, le chef de service lui-même donnent volontiers « ce coup d'œil et ce coup de main qui sont un gage de sécurité et « auxquels on répugne malgré soi dans un appareil malpropre et « mal disposé. La bonne tenue de l'outil appelle celle de l'ouvrier « dans sa personne et jusque dans sa vie domestique, et ainsi une « simple question d'ordre matériel s'élève à la hauteur d'une question « de moralité publique. »

C'est là une maxime tellement répandue en Angleterre, qu'il n'est pas rare de voir au règlement de la police d'un atelier, un article prescrivant aux ouvriers d'avoir une tenue propre. On va plus loin encore: on impose en beaucoup de fabriques un uniforme périodiquement changé et lavé. Pour les monteurs et les ajusteurs, comme pour les filateurs, cet uniforme est blanc, afin que l'ouvrier qui se respecte et

Digitized by Google

ne veut pas se montrer malpropre, prenne l'habitude de s'observer. A la porte de l'usine il y a une multitude de robinets de fontaine, assez souvent alimentés à l'eau chaude, pour le service des ouvriers avant de sortir et même pendant le travail. L'ouvrier mal tenu est mis à l'amende, comme pour les autres infractions à la police de l'usine, au profit de la caisse de secours.

Nous parlons des ateliers, c'est là surtout que le praticien étranger peut étudier une multitude de procédés, d'usages et d'engins propres à économiser la main-d'œuvre de plus en plus dispendieuse.

Mais ne voulant pas retenir plus longtemps l'attention sur un simple exposé sommaire, nous terminerons en nous occupant de la carrosserie.

D'autres communications ont suffisamment parlé des wagons à marchandises, du petit nombre de types qu'ils affectent, de la prédominance des wagons découverts pour être rapidement déchargés à la grue, de leur construction solide mais fruste pour résister aux manutentions qui sont singulièrement brutales, et de la propriété privée dont une grande partie de ce matériel est l'objet; les traditions ne paraissent pas avoir changé. Il en est autrement des voitures à voyageurs, l'ancien matériel, si inférieur à celui de nos Compagnies françaises, a disparu et une transformation totale s'est opérée dans toute la Grande-Bretagne, en se rapprochant tout à fait des types allemands qui donnent manifestement aujourd'hui le ton à l'Europe.

Ces nouvelles voitures anglaises sont très-belles, tantôt en teack, tantôt à panneaux de tôle peints et vernis avec un grand soin et richement décorés de filets ou baguettes.

Les Anglais tiennent à l'uniformité des voitures dans les trains, qui ont ainsi belle apparence; la forme et la décoration extérieures sont les mêmes pour toutes classes, et celles-ci ne sont distinguées que par un gros chiffre suivant la mode allemande adoptée jusqu'ici, en France, par notre seule Compagnie de l'Est.

A l'intérieur les premières et secondes classes sont garnies, sinon avec goût, du moins avec un grand confortable, en drap bleu dans les premières classes. Le ciel et toutes autres parties non rembourrées sont simplement recouvertes de ces toiles cirées, imprimées élégamment, qui sont si générales en Angleterre pour tous usages domestiques ou autres.

Dans les voitures de deuxième classe la garniture, pareillement en

Digitized by Google

drap bleu ou bien en maroquin ou en crinoline, ne laisse presque plus de différence avec les premières, car il y a aussi rideaux, filets, accotoirs et même chaufferettes en hiver.

Enfin on commence à munir les troisièmes classes, non-seulement d'un coussin en cuir ou en coutil comme sur l'impériale des omnibus des rues de Londres, mais parfois même de dossiers rembourrés.

Les voitures-salons avec water-closet et lavabo ne sont plus exceptionnelles, elles sont généralisées sans supplément de prix et on voit, non-seulement des sleeping-cars comme ceux de la Compagnie Man en France, mais des immenses wagons américains magnifiquement décorés, à 8 et à 12 roues, en deux trucs ou bogies mobiles.

La stabilité et la douceur en marche comme au démarrage de toutes ces voitures a été irréprochable sur la totalité de nos 2,000 kilomètres de parcours sur des lignes toujours distinctes. Elles sont très-élevées, grâce à la cambrure accentuée du ciel. La hauteur ordinaire mesurée au milieu est $2^{m},28$.

Le nombre des places qui était autrefois de 3 par banquette dans les premières classes et 4 dans les secondes classes, est maintenant comme en France de 4 et 5, sur plusieurs lignes, mais non partout. L'écartement extrême des essieux est communément de $4^{m},90$ à 5 mètres sous les voitures à 4 roues.

Ces nouveaux véhicules anglais doivent être aussi lourds que ceux d'Allemagne, qui pèsent de 9 à 11 tonnes ; car il sont comme ceux-ci robustes et fortement constitués, particulièrement dans les châssis et les attelages.

Ce n'est assurément pas, comme en Allemagne, en prévision des transports militaires, car les ingénieurs anglais sourient, comme nous avant 1870, quand on leur dit que les railways pourront être, à un moment donné, autre chose qu'un engin purement industriel.

Parmi les nombreuses particularités de détails, on remarque que les Anglais font les châssis des voiture en bois et rarement en fer, qu'ils emploient sur diverses lignes les voitures à 6 roues, sans préjudice des grands wagons américains à trucs mobiles où il y a jusqu'au total de 12 roues ; on continue largement l'usage de ces roues pleines en bois debout qui n'ont jamais pu s'acclimater en France, le lubrifiage à l'huile est beaucoup employé pour les fusées de wagons, et les fenêtres, sauf celles des portières, continuent à demeurer dormantes ainsi que cela se fait partout, sauf en France.

Digitized by Google

Comme il est maintenant admis que la carrosserie doit être bien tenue et que l'aspect des trains doit être digne d'une grande nation industrielle, on cherche des procédés expéditifs et économiques pour le lavage des voitures. Celui de la gare de Kings-Cross à Londres (Great-Northen) est une grande machine décrite dans l'*Engineer-Journal* de 1875. Qu'on se représente deux grandes brosses cylindriques verticales de hauteur égale à celle de la voiture, mises en rotation par une locomobile de 4 chevaux et entre lesquelles passe lentement tout un train remorqué ou refoulé par la locomotive; un jet de pompe mouille les brosses en mouvement, et il suffit de quatre minutes pour laver ainsi un train de 12 voitures simultanément des deux côtés, à l'aide de trois hommes, savoir : le conducteur de la locomobile et les deux préposés au réglage des brosses et jets de pompe.

L'éclairage des voitures paraît maintenant soumis aux mêmes règles qu'en France. On a écrit qu'on y appliquait le gaz : c'est vrai pour le Métropolitain; sur tout notre parcours, jusqu'en Écosse, nous n'avons trouvé que l'éclairage à l'huile comme en France, mais avec trois différences :

1° Les mèches plates sont beaucoup plus fortes; elles ont 45 millimètres de largeur, et la lumière est incomparablement plus puissante;

2° Les lanternes en cristal descendent pour le même but beaucoup plus bas, ce que permet la grande hauteur du wagon sous son ciel si cambré; pour cacher la lumière, quand on veut dormir dans l'obscurité, il existe, au lieu de notre petit rideau plat, une sorte de chapeau à ressort original, mais commode;

3° Enfin les lanternes ne sont pas à demeure sur la voiture; on les enlève, on les nettoie, on les allume à la lampisterie de la gare, on les transporte sur un chariot *ad hoc*. Quand la lanterne n'est pas mise à la voiture, la trouée qui lui est réservée reste béante et d'un désagréable effet. Bien que la lanterne elle-même soit très-belle dans sa simplicité, son chapeau extérieur et ses autres accessoires sont très-primitifs.

Parlons en terminant du chauffage des wagons. On calommie les Anglais en disant qu'ils ne le pratiquent pas : sur le Calédonian-Railway, les secondes classes elles-mêmes ont des chaufferettes; mais elles sont bien primitives ces petites bouillottes en fer blanc, longues de 70 centimètres, dont une seule est mise par compartiment.

Digitized by Google

On l'emplit au robinet d'une chaudière, comme on pratique partout, en attendant que l'appareil à noria de la Compagnie de l'Est se généralise. Et, puisque l'occasion se présente de parler de ces installations nouvelles, il ne sera pas hors de propos de faire connaître les résultats acquis dans la campagne qui vient de s'achever.

On connaît suffisamment, par le grand ouvrage de MM. Regray et Salomon offert à la Société, les études de la Compagnie de l'Est sur tous les modes connus de chauffage de wagons, lesquels peuvent se réduire à quatre types :

1° Le poêle russe et suisse appliqué pratiquement aux grands wagons communs munis de couloirs, permettant à chaque voyageur de venir se chauffer à son tour, puis de se retirer ensuite à son gré, comme dans une chambre;

2° La chaufferette allemande à briquettes de charbon, donnant une bonne chaleur, mais dégageant trop aisément dans la voiture de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone;

3° Les appareils fixes à circulation d'eau chaude, dits thermo-syphons, ou les appareils à air chaud;

4° Enfin la chaufferette classique à eau chaude.

On sait que tout en continuant l'essai courant de plusieurs de ces types, la Compagnie de l'Est a adopté le système nouveau des chaufferettes à eau rechauffée en cinq minutes par le trempage au moyen d'une noria dans un puits d'eau bouillante; 12 appareils ont été établis sur le réseau, et le tout a fonctionné en service courant depuis novembre jusqu'à l'été.

On a dit que les bonnes machines sont comme les femmes honnêtes, celles qui ne font pas parler d'elles. Les appareils à noria du chemin de fer de l'Est ont donc bien fait leur preuve dans la campagne qui s'achève, car ils n'ont troublé aucun service et le public ne s'est nullement aperçu du changement de système.

Les Anglais qui sont, comme les Allemands, si vivement à l'affût de tout ce qu'ils peuvent nous prendre, se sont déjà émus du nouveau système français, et le chauffage des wagons, encore si primitif chez eux, ne tardera pas à s'améliorer, comme ont progressé tant d'autres détails de l'industrie des railways.

Digitized by Google

II

LA MARINE ACTUELLE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

La conclusion de la note qui précède sur les railways a été qu'après une longue période de tâtonnements et de variations de systèmes, il s'était créé dans toute la Grande-Bretagne un petit nombre de types traditionnels et classiques dont on paraît ne pas vouloir sortir, au moins dans les dispositions générales.

La même remarque s'applique à la marine commerciale, la seule que nous ayons en vue dans cette seconde note.

Dans la marine de guerre, ce qu'on sait le mieux, quand on a expérimenté une frégate ou un *monitor*, c'est que le prochain navire à mettre en chantier ne pourra déjà plus lui ressembler, tant la science de la destruction progresse et, avec elle, la nécessité de trouver de nouveaux préservatifs. La lutte entre la cuirasse invulnérable et le projectile semble devoir être indéfinie, témoin ce maître de forges qui, après nous avoir montré un blindage inattaquable à tous les obus connus, nous annonça ensuite qu'il travaillait à un projectile pour en avoir raison.

On fait aujourd'hui des blindages épais de 52 cent., des projectiles du poids de 1000 livres et des canons de 130 tonnes : rien de tout cela n'est le dernier mot, même du présent.

Bornons donc notre étude à la marine commerciale. Les idées anglaises se sont introduites partout et nous n'avons presque pas besoin de sortir de chez nous pour trouver les types qui sont la dernière expression du progrès. Nous les trouvons réunis dans nos ports, notamment dans la flotte entièrement refondue de la Compagnie transatlantique française que nous allons citer souvent pour deux raisons : D'abord, parce qu'elle nous a fourni avec une entière libéralité des documents justifiés par pièces officielles, et, secondement, parce qu'ayant été attaquée autrefois dans nos séances, c'est justice de montrer que sa flotte transformée ne mérite plus les critiques

Digitized by Google

passées. Les désastres qui l'ont si douloureusement éprouvée, après dix années heureuses, n'ont rien prouvé contre les qualités de cette flotte. Le renflouement du steamer *l'Amérique* après six mois d'échouage, le célèbre coup de mer supporté sans trop de mal par le *Péreire*, n'ont été rien moins qu'un éclatant témoignage de vertus nautiques.

Sans doute, notre Compagnie française n'accomplit pas les merveilles de vitesse des entreprises rivales assez vieilles et assez riches pour se payer des prouesses dispendieuses. Mais nous verrons que pour les économies de consommation et pour la régularité du service courant elle n'a pas plus à craindre aujourd'hui la comparaison, que pour le confortable des passagers à l'égard duquel sa réputation est acquise. La Société des Ingénieurs se félicitera de ces résultats quand elle se rappellera que sept des meilleurs bâtiments de la Compagnie transatlantique sont de construction indigène[1].

Retrouvant donc dans cette flotte et dans celle des autres compagnies françaises à notre portée ce qu'on est convenu d'appeler les principes actuels des Anglais, nous allons nous efforcer de préciser ce qui les caractérise dans la coque des navires en général, dans la machine du steamer et dans l'outillage des ports.

I. **Coque.** — Bien que le steamer tende de plus en plus à remplacer le voilier, celui-ci est encore loin de disparaître. D'après le *Veritas*, il existe dans le monde 3,771 steamers jaugeant 5 millions de tonneaux, et 58,208 voiliers jaugeant 15 millions de tonneaux.

Les Iles Britanniques et leurs colonies comptent pour un tiers dans l'effectif total du monde, soit 20,265 navires à vapeur ou à voiles jaugeant près de 6 millions de tonneaux. La France vient en cinquième rang[2], après les États-Unis, la Suède-Norwége et l'Italie, avec 3,858

1. La Compagnie des Messageries maritimes compte également dans sa belle flotte de 60 paquebots, un grand nombre des meilleurs, qui sont également de construction française.

2. Voici les évaluations exactes du *Veritas* :

Iles Britanniques.....	20.265	navires	= 5.807.375	tonneaux.
États-Unis.....	7.508	—	= 2.390.521	—
Suède-Norwége.....	6.370	—	= 1.810.031	—
Italie.....	4.601	—	= 1.292.071	—
France.....	3.858	—	= 725.043	—
Allemagne.....	3.456	—	= »	—
Espagne.....	2.915	—	= »	—
Grèce.....	2.121	—	= »	—
Russie.....	1.178	—	= »	—
Autriche.....	983	—	= »	—

Digitized by Google

navires jaugeant 725,043 tonneaux. Elle est suivie de près par l'Allemagne et l'Espagne.

La Grande-Bretagne ne possède pas seulement les plus nombreux navires, elle est le constructeur de toute l'Europe, bien que la France ait fait une partie de ses navires. Les steamers des grandes compagnies allemandes, qui font à la France une si redoutable concurrence, sortent presque tous des chantiers anglais et écossais[1]. Ceux-ci réunis ensemble ont construit en 1876, année réputée médiocre, 1,067 navires jaugeant ensemble 473,543 tonneaux, dont 719 voiliers. Le seul district de la Clyde, avec ses 20 constructeurs, s'est plaint de ne commencer l'année qu'avec 140 navires en chantier, et il a lancé, dans ladite année entière, 260 navires représentant 204,770 tonneaux, dont 2 frégates cuirassées, 16 paquebots à roues et 85 porteurs de houille. 9 constructeurs ont réuni à eux seuls 100,000 tonneaux dans le lancement total, savoir : Stephen, qui tient la tête avec 17,500 tonneaux; puis la Compagnie de Glascow, la maison Elder, dont les ateliers sont une merveille; Barkley, Connell, Tomson, Dobbies, Napier et Anderson.

Pendant que l'Amérique continue ses audacieuses constructions en bois, les steamers d'Europe se font exclusivement en fer, et le même mode se propage pour les voiliers. Les chantiers de la Clyde avaient fait 40 voiliers en fer en l'année 1870; ils en ont lancé 97 en 1876, jaugeant ensemble 96,800 tonneaux.

La forme des voiliers et des steamers ne diffère presque plus; ce sont les mêmes formes fines et élancées, à murailles à peu près droites, à étrave verticale raccordée par une grande courbe à la quille classique. On dirait, à voir un voilier d'aujourd'hui, qu'on doit en faire un jour un steamer à hélice.

Quant aux dimensions, on ne peut plus leur assigner de limites et il n'est que trop vrai que ces masses en mouvement, de plus de 5 millions de kil., ne sont faites que pour aller droit devant elles sans pouvoir éviter une collision lorsqu'on n'a pas vu l'obstacle à distance d'une lieue. La Compagnie transatlantique n'a pas encore dépassé la longueur de 120 mètres. Les *Messageriés maritimes* vont jusqu'à 125 mètres.

1. Les Allemands commencent cependant à se lancer largement dans les constructions. Presque toute leur flotte fluviale est indigène. Un seul établissement prussien achève en ce moment 8 frégates cuirassées, type du *Kœnig-Frédéric*, et le yacht impérial, à roues, *Hohenzollern*, dont la machine oscillante a développé aux essais 3,000 chevaux indiqués.

Digitized by Google

La *Compagnie générale*, à Marseille, a son navire *la France* long de 130 mètres. La White-Star-line a 2 steamers de 142 mètres, le *Britannic* et le *Germanic* dont il va être parlé. La Compagnie Inman en a 3 de cette dimension, plus le *City of Berlin*, qui est après le *Great Eastern*, le plus grand steamer connu. Il mesure 159 mètres de longueur totale et 148m.74 à la flottaison, avec la largeur accoutumée de 13m.68 (45 pieds) et un creux de 10m.87.

Comme il est en ce moment en détresse, il vaut mieux concentrer notre attention sur le *Germanic* et le *Britannic*, que l'on considère comme le type actuel de la perfection. Ils font régulièrement en sept jours et demi le trajet entre Queenstown et New-York, avec une vitesse de 12 à 17 nœuds, en développant un travail de 4,971 à 5,090 chevaux de 75 kilogrammètres à l'indicateur sur les pistons et en consommant 96 tonnes de houille par jour, dit-on, mais en réalité 140 tonnes, ce qui donne la proportion normale et déjà satisfaisante de 1k.14 par cheval et par heure, la même que la Compagnie transatlantique, ce qui est naturel, puisque ce sont les mêmes machines de Maudslay, mais beaucoup moins puissantes. Leurs cylindres ont 1m.04 et 1m.915 de diamètre. Ceux du *Britannic* ont 1m.54 et 2m.40.

Le *Britannic* et le *Germanic* sortent des chantiers de Harland et Wolff, à Belfast, et les machines viennent de chez Maudslay. Ces steamers sont réellement splendides; ils ont quatre mâts et deux cheminées. Avec le faux pont divisant en deux la cale, le spardeck, le double rouff surmonté lui-même de cabines et les teugues extrêmes, il y a cinq étages à l'intérieur. Ils sont organisés pour 3,000 tonnes de frêt, 150 hommes d'équipage et 1,300 passagers; la vogue leur étant acquise, ils ont toujours leur plein, font leur maximum de recettes par voyage et peuvent se permettre des frais d'exploitation non à la portée de tous les concurrents.

Les dimensions de la coque sont les suivantes :

Longueur totale sur le pont.	468 pieds,	soit	142m.64
Longueur à la ligne d'eau.. .	455	—	138m.64
Largeur au maître bau. . . .	45	—	13m.68
Tirant d'eau.	21	—	6m.38
Creux sous spardeck.	34	—	10m.36

1. Depuis les victoires de l'Allemagne, il y a partout en Angleterre, comme en Suisse des navires appelés Germanic ou Germania. Toutes les villes et provinces allemandes ont également donné leur nom à des navires de premier ordre.

Digitized by Google

La longueur de 140 mètres peut être considérée déjà comme classique en Angleterre pour les grands steamers de la marine commerciale, celle de 100 mètres est vulgaire même pour la marine de guerre. Les frégates françaises *Colbert* et *Richelieu* ont 108 mètres et l'*Annamite* a 115 mètres de longueur totale, sur 15m.38 de large.

La longueur des navires donne lieu à des études dont la Société des Ingénieurs de Londres, la *Mechanical Institution* et la *Navals Architects Society* s'occupent sans cesse et qui ne peuvent avoir leur place ici[1]. Elles concluent à considérer la longueur comme ayant peu d'influence sur le travail résistant et comme étant avantageuse non-seulement par l'augmentation du jaugeage, mais aussi pour la stabilité du navire porté sur plusieurs vagues, l'amplitude de celles-ci ne dépassant pas 50 à 60 mètres.

Le rapport de la largeur du navire à sa longueur semblait autrefois ne pouvoir dépasser 1/6. MM. Callon et Mathias le portaient à 1/8. Il est de 1/9 dans nos transatlantiques français, de 1/10 dans le *Britannic* et ses pareils, enfin de 1/11 dans la *City of Berlin*. Tous ces grands steamers ont, en nombre rond, 45 pieds de largeur au maître bau, dimension consacrée qui concorde avec les passes de ports, les convenances de la construction et des emménagements.

La hauteur extérieure du *Britannic*, depuis le bas de la quille jusqu'au spardeck ou pont supérieur, est de près de 12 mètres, dont moitié immergée; mais avec les teugues extrêmes et les rouffs à deux étages pourvus de galeries à la mode américaine, plus les capots et cabines, les grands steamers atteignent aujourd'hui la hauteur majestueuse des anciens vaisseaux à trois ponts.

D'autre part, nous verrons que la machine est très-élevée; d'où il suit que le centre de gravité du système est beaucoup plus rapproché qu'autrefois de ce point idéal dit *méta-centre* sur lequel le navire est pour ainsi dire attaché comme un pendule. Son redressement dans le roulis est ainsi moins brusque, moins dur, moins fatigant pour les passagers et pour la coque elle-même.

On ne cherche donc plus à exagérer l'équilibre stable du navire en mettant à fond de cale tout ce qui est d'un grand poids, comme il paraît si naturel, car la douceur d'un paquebot à la marche est aujourd'hui la qualité la plus appréciée des passagers. Il y a tels de ces beaux steamers admirés dans les ports sur lesquels on ne remonte plus quand on

1. Voir Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France, année 1853.

Digitized by Google

y a fait un voyage; la plupart de nos transatlantiques, entre autres le *Saint-Laurent*, de construction toute française, sont recherchés pour leur douceur de mouvement.

Nous pouvons également étudier à leur bord les particularités d'installation et de construction que réunissent par excellence le *Britannic* et le *Germanic* de la White-Starline, tels que cloisons et cellules étanches, en prévision des voies d'eau; coupoles d'aérage dans le salon; pose des lits de passagers, suivant la longueur du navire dans des chambres bien éclairées, ventilées et chauffées par calorifère; bibliothèque, chambre de piano, fumoir, bains, glacière; communications, sonneries, avertisseurs et phares électriques de Gramme; panneterie mécanique, cuisine distillatoire; mâts et vergues en tôle, câbles de fil d'acier; cabestan, treuils élévateurs et gouvernail à vapeur mus par un seul homme; teugues extrêmes couvertes pour couper au besoin la lame et aller devant soi dans les gros temps, pour ainsi dire entre deux eaux, suivant l'expression de M. Flachat; fines formes, et évidemment de l'arrière pour faciliter le retour de l'eau déplacée et le franc jeu de l'hélice; à l'intérieur, bandes et croix de Saint-André de consolidation, baux d'une seule pièce laminée suivant forme spéciale, à nervures; tôles posées bord sur bord en alternant et réunies bout à bout, sans saillie, avec plates-bandes en dessous; partout double ligne de rivure; suppression en tout bon chantier du poinçonnage des tôles, mais forage et parfait alésage, au moyen de perçeuses mécaniques à douze ou vingt forets travaillant à la fois sur la même ligne avec une grande précision, sans risquer de casser la tôle aux bords, ainsi qu'il arrive trop souvent au découpoir, sans qu'on puisse le reconnaître après coup, tant les ouvriers non consciencieux sont habiles à dissimuler ces fentes qui finissent toujours par produire des voies d'eau.

Une disposition des aménagements pour les voyageurs est encore contestée. La plupart des nouveaux bâtiments sont à spardeck, c'est-à-dire couverts par un pont complet, beau promenoir élevé, entouré d'une rampe et meublé de rouffs. C'est tout simplement l'addition d'un étage en plus au navire; ainsi sont la plupart de nos transatlantiques français, même d'importance secondaire, tels que la *Colombie*. Le *Péreire*, la *Ville de Paris* et le *Saint-Laurent*, plusieurs des steamers Inman et la plupart de ceux de la Compagnie Cunard n'ont pas cet étage supplémentaire, mais une large dunette régnant du bout en bout, avec portes et fenêtres, ouvrant sur une rue latérale protégée

Digitized by Google

par un garde-corps élevé et robuste, qui n'est autre que l'exhaussement de la muraille du navire.

Le *Britannic*, le *Germanic* et la *City-of-Berlin* réunissent le spardeck et la dunette presque entièrement de bout en bout.

II. **Machine de navigation.** — La marine n'a pas encore dit son dernier mot sur l'appareil de propulsion des navires à vapeur; les roues restent préférées pour les paquebots express à courte traversée, qui emportent peu de provisions de route et dont, par conséquent, l'immersion de la coque varie peu. Ainsi sont les bateaux des lacs suisses et d'Écosse, qui sont des modèles en leur genre, et ceux qui traversent la Manche et le canal Saint-Georges.

Pour mouvoir les roues, deux systèmes de machines bien connues s'emploient indifféremment : la machine oscillante de Penn travaillant dans un plan vertical sur peu de longeur, et la machine à cylindres fixes, dite en mouvement de locomotives, sur bâtis inclinés à 45 degrés. La *Germania* du lac de Lucerne, et les nouveaux paquebots du Havre à Southampton offrent de très-beaux spécimens de ce système.

Signalons également le *Limerick*, paquebot-poste, neuf, du canal Saint-Georges, construit par Simonds. Voici ses dimensions principales : longueur à la flottaison 76 mètres, largeur 8m,82, soit rapport 8,6; jaugeage-regist. 1,000 tonneaux; spardeck, plus un rouff, en tout trois étages; machine à roues, système de locomotive inclinée à 45°, Compound et à tiroirs équilibrés; puissance nominale 400 chevaux; cylindres 1m,31 et 2m,27; course 1m,82.

L'emploi des roues à aubes a disparu des steamers à grande traversée qui portent 1,000 tonnes et plus de provisions de route, dont la consommation allége insensiblement le navire, en sorte qu'il est très-immergé au départ et remonté à l'arrivée parfois de plus d'un mètre, condition dans l'un et l'autre cas mauvaise pour le bon fonctionnement des roues, tandis que l'hélice travaille sensiblement de même à toute immersion. Les petits bateaux-omnibus de Lyon et de Paris, dont la charge est naturellement très-variable, nous montrent que même en rivière l'hélice a dû être appliquée en certaines circonstances.

On a transformé en steamers à hélice la presque totalité des transatlantiques à roues dont les coques pouvaient encore vivre à côté des bâtiments neufs, et on ne connaît guère plus que le *Scotia*, de la Compagnie

Digitized by Google

Cunard, qui ait conservé ses roues mues par une immense machine de Watt à colonnettes et à balanciers latéraux.

La Compagnie transatlantique française qui, en refondant ses navires en a fait une flotte réellement neuve, a conservé aussi les roues sur la *Guyane*, steamer estimé du service inter-colonial.

L'hélice actuellement usitée est le type à 4 ailes en croix à pas croissant du centre à la circonférence, lesdites ailes rapportées à boulons sur un moyeu central, lorsque leur grandeur vaut cette complication, et ce pour simplifier la réparation en cas de rupture d'une aile.

Les navires doublés de cuivre ont naturellement leur hélice en bronze, car on sait l'effet destructeur de deux métaux différents dans l'eau salée. Mais la totalité des steamers commerciaux étant en fer, leur hélice est en fonte de fer et mieux en fer forgé pour les grands appareils à ailes rapportées.

Un certain nombre de steamers ont deux hélices jumelles, comme les bateaux de la Compagnie *Seine-et-Tamise* que nous voyons à Paris. C'est le système naturel des bâtiments de guerre ou de commerce à faible tirant d'eau, tels que les gardes-côtes et les bateaux de rivière, auxquels une hélice de $1^{m}.50$ à 2 mètres de diamètre ne peut suffire.

La Compagnie transatlantique a cinq de ses grands paquebots, pourvus d'hélices jumelles; les autres, comme ceux des Compagnies allemandes et anglaises, n'ont qu'une seule puissante hélice à demeure dans l'axe du navire en un cadre dont un des montants est l'étambot. On ne fait plus de puits pour remonter l'hélice en cas de réparation. On la visite au scaphandre et dans les dry-docks, ou bassin de carénage, si on est au port.

On a diminué le nombre de ces visites nécessaires, en supprimant le palier attenant à l'étambot, qui portait le bout de l'arbre et l'hélice, dont le poids va au delà de 20 tonnes, reste en porte-à-faux appuyée dans la lunette de l'étambot par laquelle l'arbre sort du navire.

Primitivement, on avait disposé l'hélice du *Britannic* dans son cadre ouvert par le bas, de manière à descendre à volonté, sous la quille, trouver des couches d'eau plus profondes et plus résistantes, disait-on, mais cette disposition compliquée a disparu.

Rien de nouveau à dire des paliers de l'arbre porte-hélice, de sa butée à cannelures, immergée dans l'eau de savon, ou simplement dans l'eau de mer additionnée d'un peu d'huile d'où naît une mousse savonneuse, ni du débrayage pour rendre la machine indépendante de

Digitized by Google

l'hélice, ni enfin des engins d'accouplement des diverses fractions de l'arbre.

Celui-ci, dans les récentes machines de Maudslay et quelques autres constructeurs anglais, n'est plus plein et massif, mais creux et évidé au centre comme un épais cylindre. Le noyau d'un gros arbre, dit-on, rarement bien forgé et cristallisé, contribue faiblement à la solidité, on peut l'enlever et alléger ainsi l'arbre d'un quart sans danger.

Ces arbres sont en acier, du prix de 2f.20 le kilogramme, et sont divisés en fractions identiques de 3 à 4 mètres, accouplées par manchons, plateaux ou autrement, en sorte qu'en cas de rupture la réparation en route est très-facile. La tendance est d'appliquer le même principe, autant qu'il se peut faire, à tous les organes du bâtiment pour simplifier le service des rechanges à emporter.

La machine du steamer commercial à hélice est aujourd'hui toute différente de celle du navire de guerre, qui est nécessairement à fond de cale sous la flottaison, à l'abri des coups ennemis, laissant toute la liberté des ponts. Le paquebot à voyageurs comme le porteur de marchandises ne reçoivent plus que le type vertical occupant peu d'espace et à peu près toute la hauteur, qu'on appelle *machine-pilon* à cause de sa ressemblance avec le marteau-pilon, que lui donne la forme du bâtis portant à son sommet le cylindre à vapeur, dont la tige sort par le bas.

L'Amérique, qui a comme l'Europe adopté ce type de machines-pilons, continue à se spécialiser par l'emploi d'un seul cylindre à haute pression et grande détente[1], avec ce système d'appareil distributeur de la vapeur à clapets, dit système Corliss.

On peut résumer comme il suit la disposition fondamentale de la machine anglaise qui est devenue la machine européenne.

D'abord, à la différence des Américains, il y a au moins deux machines conjuguées sur le même arbre. M. Dupuy de Lôme en a appliqué trois. En Angleterre, Rennie et quelques autres paraissent recommander ce système auquel adhérerait, dit-on, maintenant la maison Elder. La machine du paquebot français *le Péreire* est à triple cylindre, et elle a une remarquable rondeur de marche.

Ce qui caractérise la machine européenne, plus encore que la

1. Voir à l'*Engineer-Journal*, année 1876, la description des steamers *Hudson* et *City-of-Vera-Crux*.

Digitized by Google

multiplicité des cylindres, c'est qu'elle est à haute pression comme la machine américaine, mais à détente par le moyen de cylindres inégaux, suivant le principe de Wolf. La vapeur a 5 atmosphères étant introduite à moitié course d'abord au petit cylindre, puis détendue dans le grand cylindre, le tout avec enveloppe de vapeur préventive du refroidissement.

C'est la *machine Compound jacketed*, c'est-à-dire composée, avec chemise de vapeur, nom qu'ont assez étrangement adopté nos ingénieurs français, quand on pourrait tout simplement dire machine Wolf, ce qui est compris de tous. Aujourd'hui on ne ferait pas une machine de navigation qui ne fût Compound, mais pas toujours *jacketed*, car la question des enveloppes de vapeur autour des cylindres n'est pas encore jugée depuis le temps où elle était si vivement discutée dans nos séances par Farcot, Thomas, Laurens, Flachat, Polonceau et autres. Quant au principe des machines Compound, il a été préconisé aussi dans nos séances de la Société des ingénieurs, par MM. Normand et Mallet nos collègues, à une époque où la machine de Watt était réputée l'idéal de la marine.

Nous pouvons revendiquer également la haute pression que, depuis 1823, Cavé a toujours appliquée quand il était libre de le faire, et ce avec des pressions de 7 atmosphères. Il y a 15 ans, on était timidement arrivé avec Joseph Penn à 3 atmosphères. On accepte communément aujourd'hui 5 atmosphères avec la chaudière cylindrique dont nous parlerons; mais il ne faudrait pas demander en Angleterre de détendre comme Kœchlin, Meyer, Farcot et autres; le système Wolf fait loi aujourd'hui. Il y en a trois types, que la Compagnie Transatlantique française réunit à notre portée.

1° Dans le premier, deux cylindres, dont le volume est dans le rapport de 1 à 3, sont côte à côte. C'est le type de 10 steamers de la Compagnie transatlantique, des steamers anglais de la Compagnie Inman et de la flotte allemande. C'est, ou du moins c'était jusqu'ici le système de la maison Elder qui l'a, je crois, introduit et popularisé; en tout cas c'est le plus simple. Dans le *Saint-Germain* de la Compagnie transatlantique, il comporte des cylindres de $1^{m}.48$ et $2^{m}.64$.

2° Le second type de machine Wolf est à 3 cylindres alignés, dont celui du milieu reçoit la vapeur de la chaudière qui est ensuite émise ensemble dans les 2 autres cylindres. C'est, en France, le système Dupuy de Lôme. Le *Péreire*, de la Compagnie Transatlantique, a été

Digitized by Google

mis ainsi au principe Compound par l'addition d'un troisième cylindre, l'arbre moteur ayant été allongé pour recevoir une troisième manivelle.

3° Dans le troisième type de machine Wolf qui est celui de Maudslay, des transatlantiques français, du *Britannic* et du *Germanic* de la White-Star-Company, il y a 4 cylindres : deux grands et, sur le prolongement de la même tige de piston, deux plus petits cylindres qui sont ceux où la vapeur est d'abord admise, pour passer ensuite aux grands par des tuyaux de communication. Les nouvelles machines de notre marine de l'État, type du *Redoutable*, construites au Creusot, sont une combinaison des deux précédents systèmes; elles ont trois cyindres de $2^{m}.16$, et trois petits cylindres de $1^{m}.38$, sur le prolongement de la même tige, comme dans le type de Maudslay.

Quel que soit celui des trois types de machine Wolf qu'on préfère, on donne au piston des grandes machines une course en nombre rond de 4 pieds, 4 pieds et demi et même 5 pieds anglais, soit $1^{m}.52$ avec la moyenne de 55 tours d'arbre par minute, soit une vitesse de piston de $2^{m}.75$ par seconde.

Ces données étant admises, ainsi que la pression initiale de la vapeur à 5 atmosphères la puissance ne dépend plus que du diamètre des cylindres. Celui du *Saint-Germain* est de $2^{m}.64$. Dans la *City-of-Berlin*, il dépasse, dit-on, 3 mètres [1].

Dans le mécanisme, la machine anglaise actuelle se caractérise par les dispositions suivantes :

1° Distribution par tiroirs équilibrés ou non, avec coulisse dite de Stephenson et changement de marche à la fois par volant, levier, cric ou vis et par piston à vapeur spécial. Dans les nouveaux paquebots du canal Saint-Georges, ce mouvement de changement de marche est sur le pont, suivant la mode suédoise, remarquée à l'Exposition universelle.

2° Équilibre des manivelles de l'essieu moteur qui est en autant de morceaux réunis ensemble qu'il y a de coudes, en sorte qu'en cas d'avaries, on n'a plus à remplacer toute une ligne d'arbre d'un prix élevé.

3° Bielle motrice courte. Elle ne dépasse guère 3 fois et demie la

1. Cet immense diamètre des cylindres n'est plus en question avec les moyens de fabrication actuels; les ateliers de Quillac, à Anzin, font couramment des souffleries à cylindre de 4 mètres, dimension que Cail dépasse dans ses appareils à sucre.

Digitized by Google

manivelle qu'elle actionne, et en cela la marine se distingue des locomotives et des machines fixes où la bielle égale 5 fois la manivelle.

Il y aurait d'abord à examiner si une longue et lourde bielle ne menace pas de rupture le tourillon qu'elle actionne, et à ce point de vue purement pratique on ne peut mesurer sans inquiétude l'effet d'une bielle marine qui, même limitée à trois fois et demie la manivelle, pèse déjà 500 kilogrammes.

Mais, ce qui limite aussi cette longueur, c'est qu'avec elle il faut déjà donner une grande élévation à tout l'ensemble d'une machine qui devrait, comme condition première être aussi réduite que possible en poids et en volume.

4° Une particularité qui étonne dans la machine marine c'est le peu d'étendue des surfaces frottantes pour des organes qui roulent sans cesse pendant un mois et plus, à raison de 80,000 tours par jour.

Sur la plupart des tourillons on mesure par centimètre carré de surface utile une pression de 15 à 20 kilogrammes en travail normal, sans compter la réaction de ces coups de mer dont les effets correspondent parfois à des pressions de 80,000 kilogrammes par mètre carré de surface, évaluation formidable que je n'oserais pas relater si l'amiral Labrousse, de savante mémoire, n'avait bien voulu vérifier en leur temps mes calculs, et si on n'avait l'exemple de la fameuse vague qui écrasa le pont du *Péreire*, lequel n'a évité un désastre que par son extrême solidité.

On se demande comment les organes d'une machine, et notamment les surfaces frottantes ainsi que les enduits lubrifiants peuvent résister, et comment les grippages ne soient pas plus fréquents. On exige, il est vrai, des huiles et graisses toutes particulières. La machine d'essai des ateliers d'Indret, et celle de Deprez-Napoli au laboratoire du chemin de fer de l'Est éprouvent ces substances sous la pression de 40 kilogrammes par centimètre carré, et les récentes expériences pratiques de la Compagnie transatlantique ont montré combien était importante cette question des huiles pour le rendement de travail, la conservation des organes et l'économie du service. Le *Saint-Laurent*, paquebot refondu à neuf et de construction toute française (machines du Creusot), se montre depuis plusieurs voyages un des plus jolis marcheurs connus ; la très-bonne qualité de ses matières lubrifiantes a eu sa part manifeste dans ces résultats, et on voit par cet exemple combien l'étude du frottement importe dans une machine marine.

Digitized by Google

Il en est de même de la tuyauterie d'un navire qui est trop souvent à l'état d'inextricable réseau. Pour la vapeur et pour l'eau, pour la purge, pour la cale, les égouts, les chaudières, les machines, le calorifère, la cuisine, les bains, la ventilation, etc., il y a des conduites de toutes formes et dimensions qui représentent une longueur développée, plusieurs fois égale à la longueur du navire. Quelques constructeurs cherchent enfin à mettre de l'ordre et de la méthode dans cette forêt où l'on ne se retrouve qu'avec beaucoup de pratique.

Il nous reste à parler des chaudières produisant la vapeur et des appareils condenseurs. Les deux épouvantables explosions presque simultanées du *Thunderer*, en Angleterre, et de la *Revanche*, en France, donneraient à l'étude des chaudières une grande actualité s'il n'était établi maintenant que ces deux désastres ont été purement accidentels et sur deux systèmes différents dont les exemplaires se comptent par milliers. Disons donc simplement que depuis l'emploi de la haute pression l'unique type de chaudières marines, en Europe, est celui qu'on nomme multitubulaire en retour de flamme, de forme cylindrique[1], sans autres parties planes que les deux façades. C'est le type qui a été remarqué à la dernière Exposition universelle dans la section autrichienne et qui était, paraît-il traditionnel sur le Danube. Tantôt ces chaudières, généralement divisées en corps distincts à trois foyers, sont rangées sur deux lignes longitudinales avec une allée de chauffe au milieu; tantôt, comme dans la plupart de nos transatlantiques, ces corps de chaudières sont eux-mêmes mis en long, dos à dos, avec allées de chauffe transversales.

Le condenseur actuel de la marine est exclusivement ce type multitubulaire, dit à surface, qui est le contrepied du générateur et qui fournit à celui-ci de l'eau à peu près distillée en proportion des deux tiers de la consommation totale. On peut évaluer la surface tubulaire condensante aux deux tiers de la surface de chauffe ; celle-ci étant en moyenne de $0^{m}.35$ par cheval effectif de 75 kil. comme dans le *Britannic*.

Aujourd'hui, c'est généralement l'eau qui passe dans les tubes de bas en haut de l'appareil par l'effet de la pompe dite de circulation, pompe rotative actionnée par une machine à vapeur indépendante. Parfois on rend aussi indépendantes de la machine toutes les pompes, même les pompes à air du condenseur, mais la tendance est plutôt de

1. Aux États-Unis on emploie des chaudières multitubulaires verticales, type de la City-of-Vera-Crux. Voir *Engineer-Journal*, 1876.

Digitized by Google

les installer verticalement, leurs pistons étant mus par un balancier ou levier du deuxième genre, dont l'autre bout est actionné par la tige du piston auquel il fait équilibre. Telle est la disposition généralement préférée aux pompes horizontales mues par des excentriques emmanchés sur l'essieu coudé de la machine.

C'est aux condenseurs à surface, à l'emploi de la haute pression et à la détente Wolf, qu'on attribue les économies réalisées aujourd'hui dans la marine, ainsi qu'à l'allégement des machines dont le poids tout compris descend aujourd'hui au-dessous de 200 kil. par cheval, effectif pour les grandes machine donnant 55 à 60 tours d'hélice par minute.

Dans les navires de petite dimension, tels que les yachts, les chaloupes et les bateaux-omnibus des rivières, on trouve d'autres données et on est arrivé à de vraies merveilles. Laissons les chaloupes de la marine, construites par Claparède et autres, ainsi que les omnibus de la Seine et de la Saône qui mériteraient une communication à la Société et parlons de la *Gitana*, le fameux yacht du lac de Genève, construit en Angleterre par Torneycroft, lequel s'est fait dans ce genre de petits navires une spécialité, à ce point que lorsqu'on parle des chaloupes et yachts de ce type, on dit *des Torneycroft*, comme on dit *des Cramptons* ou *des Engerth*, pour désigner certaines locomotives. La *Gitana* est une fine goëlette en mince tôle d'acier, qui mesure 27^{m}.60 de long sur 4^{m}.10 de large. Elle file 18 à 20 nœuds, sous l'action d'une triple machine Compound, à cylindres de 34 et 37 cent. sur 40 cent. de course, qui donne 300 tours d'hélice par minute et développe 450 chevaux de 75 kil. indiqués sur les pistons, soit près de 200 chevaux par mètre de section résistante.

Les chaloupes ordinaires de Torneycroft, longues de 20 mètres sur 2^{m}.60 avec 65 cent. de tirant d'eau, donnent jusqu'à 430 tours d'hélice, rappelant ainsi les machines de Flaud, constructeur parisien, et elles sont si légères, 35 kil. par cheval tout compris, qu'on espère pouvoir réaliser avec elles la direction des aérostats. Elles impriment largement, comme à la *Gitana*, des vitesses de 18 à 20 nœuds, ce qui ne s'était vu encore que sur le Rhône et les rivières américaines.

Les grands steamers, les paquebots, comme les bâtiments de guerre, ont aussi maintenant une puissance et une vitesse qui constituent un grand progrès. On connaît en France et à l'étranger des cuirassés à éperons qui peuvent soit se dérober, soit lancer sur l'ennemi

Digitized by Google

leur masse de 8 à 9 millions de kil., avec une vitesse de 16 nœuds, en développant près de 7,000 chevaux de puissance effective; heureux si la force vive, égale à 75 millions de kilogrammètres, ne rend pas le choc aussi fatal à l'un qu'à l'autre.

Quant aux paquebots, nous avons vu par l'exemple du *Britannic* et de ses pareils qu'on pouvait aujourd'hui traverser l'Atlantique en moins d'une semaine, économisant ainsi relativement aux anciens voyages, plusieurs jours de provisions de route. Une concurrence désespérée a fait, par tous les moyens connus, chercher d'autre part ces économies, notamment celle du combustible (houille, genre Cardif, ou briquettes, en Angleterre et en France; anthracite aux États-Unis).

Jadis on se déclarait satisfait quand on ne dépensait pas plus de 3 kilog. par cheval et par heure; aujourd'hui un steamer qui ne consomme pas au delà de 1 kilog. 20 gr. en circonstances normales est dans de bonnes conditions. On descend notablement au-dessous de 1 kilog. par le beau temps. Mais, dans les grosses mers, quand le propulseur émerge et que la machine s'emporte, la vapeur se gaspille comme dans une locomotive qui patine sur ses rails en un jour de verglas; de là vient que la marine, après tant de travaux pour économiser le combustible, en reste actuellement à cette moyenne de 1 kilog. 20 par cheval et par heure, qu'il faut accepter *sans illusion* comme normale jusqu'à nouvel ordre : ce qui est encore énorme, car la puissance motrice effective d'un grand paquebot étant d'environ 3,000 chevaux, de 75 kilogrammètres, c'est une consommation totale de 85 tonnes de houille par jour et près de 900 tonnes pour un voyage d'Europe en Amérique, soit la charge de deux grands trains de chemins de fer. Il ne faut donc pas regarder comme résolu le problème de la consommation économique dans la marine.

Comme les autres Compagnies, la Transatlantique française est arrivée à la moyenne normale qui précède, pour ses navires transformés, avec un rendement de travail de 2,500 à 3,000 chevaux dans les grands paquebots. Ceci est encore faible, dira-t-on peut-être, si on compare le travail utile de la force nominale de 800 et 900 chevaux annoncés dans les prospectus, avec les rendements du *Britannic* et du *Germanic*, qui sont portés au *Veritas* pour 760 chevaux et donnent 5,000 chevaux effectifs. C'est que la force nominale est comptée en Angleterre au sixième et en France au quart seulement de la puissance effective et réelle; en sorte que pour avoir des résultats comparables, il faudrait

Digitized by Google

ne porter nos transatlantiques français que pour 530 chevaux de force nominale qui, multipliés par 6, suivant le système anglais accuseraient un rendement utile, aussi beau relativement que celui du *Britannic* et du *Germanic*. Dans cinq des paquebots transatlantiques, les machines sont d'ailleurs du même système et du même constructeur; elles ne diffère que par les dimensions beaucoup plus considérables à bord des paquebots anglais qui sont aussi plus grands.

Enfin quand on évalue la consommation d'un steamer, il faut distinguer la machine proprement dite du propulseur et les machines accessoires pour les pompes, le gouvernail, le cabestan, plus les affûts des canons et les tourelles à bord des navires de guerre. Pour tous ces différents services, il existe une frégate qui possède à bord 35 machines à vapeur distinctes, alimentées par le même groupe de chaudières. C'est à la consommation proprement dite de la machine servant à la propulsion, y compris les pompes à air, alimentaires et de circulation, que s'applique la consommation ci-dessus.

Il n'est permis d'aller au delà qu'aux vieilles et riches compagnies qui peuvent ne reculer devant aucun sacrifice pour capter le public. La marine française a aujourd'hui de magnifiques flottes manifestement comparables à ce que l'Angleterre et l'Allemagne offrent de mieux; mais elle a encore des conditions d'exploitation trop difficiles : peu protégée, peu comprise, peu populaire, elle n'a pas d'émigrants, parce que le Français, trop bien chez lui, n'émigre pas et que la France est à peine assez peuplée pour ses besoins. Elle a peu de fret de sortie, parce que les commissionnaires à l'exportation sont presque tous des étrangers qui donnent patriotiquement tout à leur pavillon. Les Allemands surtout, trouvant nos ports sur leur route naturelle, après avoir fait la cueillette sur toutes les côtes de la mer du Nord, achèvent de se remplir avec notre fret enlevé à vil prix, en privant ainsi nos paquebots qui ne s'en vont qu'avec ce que leur donne leur clientèle attitrée. On les a comparés à des chemins de fer qui n'auraient que des trains de voyageurs de première classe et de la petite messagerie.

Ce sera donc un devoir pour la Société des Ingénieurs civils de France de saisir toutes les occasions de s'intéresser à la marine, qui est représentée aujourd'hui par cinq grandes Compagnies principales réunissant un effectif de 70 steamers de *première classe*, autant que l'Allemagne et le dixième de l'Angleterre. Ce n'est pas seulement un élément de puissance commerciale, il n'y a pas besoin de démon-

Digitized by Google

trer quelles ressources offrirait pour la guerre un pareil effectif de transport.

III. **Outillage des ports.** — La France n'a guère que des ports factices, belles œuvres de nos Ingénieurs. Les Iles Britanniques sont, au contraire, merveilleusement entourées de ports naturels au fond d'une baie, ou loin de l'embouchure dans des fleuves, où on ne redoute ni vents, ni vagues, ni sables, ni vases; où on entre à toute heure de marée; où il n'y a eu ordinairement que des travaux d'appropriation.

On n'y trouve pas toujours de beaux quais de granit, comme dans le moindre de nos ports; les docks de Victoria à Londres en sont encore en partie à leurs estacades de bois et à leurs hangars construits avec la dernière économie; mais ce qui ne manque pas au plus petit des ports de nos voisins, c'est la réunion complète des engins d'exploitation, sans lesquels il n'y a pas de service maritime pratique, et dont l'usage est public sans être paralysé par l'excès des réglementations : docks, voies ferrées en tous sens, appareils élévatoires, ateliers de réparation, bassins et instruments de toute sorte pour visiter les carènes, tout est au complet, aussi bien à Granton, qui est le *Trouville* écossais, qu'à Londres et à Liverpool.

A quel point nos ports français sont pauvres en outillage de service? les armateurs ne le savent que trop. Ils sont comparables, nous disait un Anglais, à un beau chemin de fer sans locomotives, ou à un vaisseau de Napier sans agrès. Le port de Dunkerque, par exemple, qui a un mouvement annuel de 2,000 navires entrant, n'a encore qu'un antique gril de 60 mètres, découvert trois heures entre les marées pour visiter les carènes; c'est à Swansea ou à Flessingue que les navires attachés au port de Dunkerque vont chercher les dry-docks ou les plans inclinés dits *patent-slip de Morton*, qui abondent non-seulement sur les côtes britanniques, mais sur tout le littoral de la mer du Nord et même, dit-on, de l'Italie.

Ce sont généralement des entreprises privées, et il a été déjà démontré que si le port lui-même est une œuvre de l'État, c'est le génie civil et l'industrie particulière qui doivent le pourvoir de l'outillage de service dont l'absence paralyse notre marine plus encore que les régimes douaniers et la concurrence qui sont dans l'ordre naturel.

Digitized by Google

L'outillage des ports anglais, à relater spécialement, comprend les grues, la voie ferrée, les appareils à visiter les carènes et les ateliers de réparation.

Les grues ont perdu beaucoup de leur importance depuis que chaque navire possède à bord ses grues ou des treuils à vapeur, alimentés par une chaudière spéciale, avec poulies et palans suspendus aux vergues. Ce qu'il faut donc aujourd'hui trouver sur le quai des ports, ce sont des appareils élévatoires très-puissants pour manutentionner les mâts, les chaudières, les pièces de machines et les grands colis de 20 tonnes et plus.

Dans les cours et à l'intérieur de ces bâtiments gigantesques qu'on appelle plus spécialement docks anglais, il y a une profusion extraordinaire d'appareils de manutention de toute sorte, ordinairement du type hydraulique d'Armstrong, si rare en France, et qu'on trouve partout en Angleterre, dans les ports comme dans les gares de chemins de fer.

La voie ferrée des ports n'a d'autre particularité que celle d'être aussi complète que dans la mieux organisée des gares de railways. Dans toute la Grande-Bretagne, le port et le réseau ferré sont soudés ensemble en un même instrument de transport.

Les locomotives de docks ne se distinguent que par les soins pris contre l'incendie : fermetures des cendriers, cheminée courte et garnie de pare-étincelles très-complets. Ce sont de puissantes machines-tender pouvant passer partout où passent les wagons.

Pour la visite et la mise en état de la carène et de l'hélice, les ports britanniques ont partout une multitude d'appareils, dont les principaux sont les bassins de carénage, les docks et les pontons flottants, l'appareil hydraulique de Clark et le patent-slip.

Les bassins de carénage (dry-docks) sont en grand nombre dans les ports de premier ordre ; un seul entrepreneur de la Mersey en possède quatre. Les petits ports en ont au moins un. Ils sont souvent construits avec une excessive économie, et presque tous sont des propriétés privées ou municipales, entre lesquels il y a naturellement concurrence ; on en fait d'immenses qui peuvent contenir plusieurs grands navires. Celui que nous avons vu à Greenock contenait un grand steamer, un trois-mâts et deux goëlettes. On pourra encore l'allonger et lui donner deux issues.

Les docks flottants ressemblent à celui du Havre comme principe,

Digitized by Google

et sont construits en fer. Il paraît qu'ils sont multipliés dans les colonies anglaises.

Les pontons flottants sont des grands coffres hermétiques en tôle, d'abord remplis d'eau et coulés sous le navire à assécher, mais qu'on vide ensuite par des pompes d'épuisement pour les faire flotter, en relevant au-dessus de l'eau le navire qu'ils portent.

Le plan incliné d'émersion des navires, dit *patent-slip*, a remplacé le gril classique auquel en sont les ports français. C'est un chariot de charpentes, porté par des galets roulant sur rails, avec cliquet d'arrêt dans une crémaillère, qui, à la haute mer, va prendre le navire en dessous; un cric hydraulique le remonte en haut du plan incliné; après la réparation le navire est reporté de même à l'eau par la descente du chariot. Nous allons enfin avoir en France, à Dunkerque, un patent-slip, du type anglais, pour navires de 1,200 tonneaux. Son installation est relativement peu dispendieuse pour l'entrepreneur, et la location beaucoup plus économique pour l'armateur que le dry-dock; la carène repeinte y sèche plus vite, étant exposée au grand air.

Enfin, l'appareil Clark des docks Victoria est un grand ensemble de presses hydrauliques plantées sur deux lignes dans l'eau, qui prennent en dessous le navire par des chaînes et le posent sur un ponton où on le répare à son aise, pour l'y reprendre ensuite et le remettre à l'eau en lâchant les presses. C'est une magnifique installation, mais fort dispendieuse qui, le jour de notre visite, venait d'enlever et d'assécher trois navires dont un grand steamer, déjà, près de là, aux mains des ouvriers.

Ces appareils sont décrits dans les publications techniques anglaises; leur simple énumération montre avec quel soin on a partout et par tous les systèmes complété l'outillage des ports anglais qui, enfin, sont tous pourvus de nombreux ateliers de construction et de réparation. Nous n'en possédons que quatre, en France, qu'on puisse comparer à ceux de la Tamise, de la Mersey et de la Clyde, et nous avons vu que sur cette seule rivière il y a 20 grands ateliers ayant la spécialité des constructions et réparations maritimes.

Qu'on ne se fasse pas une fausse idée des ateliers anglais. Il y en a de magnifiques, comme celui de la Société hautement aristocratique qui a repris les anciennes affaires d'Elder, à Glascow, et où nous avons vu en chantier onze grands navires en fer. Mais, en général, les ateliers

Digitized by Google

anglais n'ont ni les vastes proportions ni les dispositions d'ensemble de Cail ou du Creusot.

Ce qui leur est particulier ce sont les méthodes expéditives et économiques, jusque dans les moindres détails. C'est la merveilleuse utilisation de la machine-outil, dont la pièce ouvrée entrée brute sort achevée de toute manière autant qu'il se peut faire et sans manœuvres; ce sont les engins mécaniques sous toutes les formes pour remplacer la main d'œuvre qui devient si rare et si dispendieuse. C'est l'adresse, le tour de main, la célérité et le rendement de travail qui caractérise l'ouvrier anglais faisant toujours le même ouvrage depuis l'enfance, témoin un vieux mouleur qui a fait sous nos yeux en 22 minutes le moule en sable vert, réussi d'emblée, d'une roue d'engrenage de 70 centimètres pour métier à tisser.

Les ateliers de constructions et réparations maritimes ont comme particularité la puissance extraordinaire de l'outillage : les alésoirs, les tours, les machines à planer du poids de 50 tonnes ne sont que des outils ordinaires, et l'on monte aux organes du haut pour la visite et le graissage par des plates-formes étagées et des escaliers comme dans les navires, dont ces outils, vrais monuments, fabriquent les pièces.

Il ne faudrait cependant pas croire que les constructeurs anglais tendent à généraliser les grands organes mécaniques d'un seul bloc aux formes nécessairement tourmentées, dont nos ateliers sont quelquefois si fiers, comme on l'est des prodiges d'habileté. C'est tout l'opposé en Angleterre, et la raison en est que ces fabricants pratiques comprennent ce que ces tours de force coûtent de temps et de frais en cas de réparation au loin. Si nous avons à la prochaine Exposition universelle, dans la section anglaise, des machines marines faites, non pour l'exhibition, mais pour le service courant, nous remarquerons qu'elles sont faites de pièces et de morceaux rapportés à boulons, parfois de forme primitive et presque grossière.

Nous verrons aussi des pièces ou parties de pièces semblables et d'un but très-différent, les unes plus grosses qu'on ne voudrait d'après leur travail, les autres juste suffisantes et d'un mauvais aspect. Tout cela est calculé en vue de simplifier les rechanges et réparations de route.

Une dernière remarque faite en visitant les ateliers britanniques est que les pièces livrées à l'ajustage sont brutes de forge, à peine dé-

Digitized by Google

grossies. Une des raisons qui nous en ont été données, c'est qu'on réduit les *chaudes* autant qu'il se peut faire dans la crainte de brûler accidentellement le métal; les bons fers anglais, notamment ceux du Yorkshire, étant très-délicats. La machine-outil, si largement employée, enlève des copeaux dont l'inégalité ne serait pas admise en France, où parfois nous voudrions ne pas même *écroûter* les surfaces de fonte ou de forge.

Cette observation de rusticité de la pièce de forge anglaise ne s'applique bien entendu qu'aux grosses œuvres destinées à l'ajustage; car les pièces multiples sur le même modèle se font avec perfection mécaniquement, à l'étampe ou par machine, et il reste à peine à les *meuler*. Ainsi s'obtiennent les pièces de métier, les ferrures de wagons et navires, les rivets et les boulons dans des fabriques spéciales que, du reste, nous n'avons plus à envier à l'Angleterre; car nous en possédons d'excellentes, telles que celles de Nouzon, Braux et Bogny, dans les Ardennes.

Par cette revue de l'industrie anglaise actuelle nous n'avons nullement voulu déprécier notre industrie française. Nous n'avons pas la quantité des usines, mais nous avons, en général, la qualité incontestée des produits. L'Angleterre ne fait pas mieux que nous, mais elle fait souvent plus vite et par d'autres procédés.

Je me suis proposé d'inviter vivement les praticiens, les *hommes du détail* à rester moins chez eux et aller faire à l'étranger des études moins difficiles qu'on ne croit quand on se présente franchement, sans autre but que de voir ce qui ne peut être un secret pour un chef d'usine intelligent.

Digitized by Google

MÉTALLURGIE DU ZINC

DE LA

CONDENSATION DES VAPEURS DE ZINC

DANS LES APPAREILS SOUFFLÉS

PAR M. A. LENCAUCHEZ.

EXPOSÉ

C'est en 1860 que je fis, en collaboration avec M. Adrien Muller, ancien élève de l'École centrale, un projet de traitement de minerai de zinc au haut fourneau. (Voir *la Publication industrielle de M. Armengaud aîné*, août 1860.)

Nous ne connaissions point à cette époque les travaux de M. Lesoigne, professeur à l'Université de Liége, ni ceux de M. Accarin, de Dollain, aujourd'hui directeur des hauts fourneaux d'Outreau, près de Boulogne-sur-mer.

De faux rapports nous avaient fait croire que dans le pays de Spa et de Verviers on trouvait des minerais de fer chargés d'oxyde de zinc, que ces minerais rendaient 30 p. 100 de fer, 15 à 20 p. 100 de zinc et qu'ils étaient sans valeur, attendu qu'on ne pouvait les traiter ni au haut fourneau, ni au four à zinc.

La vérité était que ces minerais à 5 francs la tonne n'existaient plus depuis longtemps et qu'il était bien difficile de se procurer du minerai de zinc en Belgique et sur les bords du Rhin, au-dessous du prix de 110 à 120 francs la tonne, celui-ci venant en grande partie à Anvers par mer.

Comme nos devanciers, nous ne pouvions obtenir que du zinc gris,

Digitized by Google

et personne, à cette époque, ne savait ce que c'était que cette poudre métallique : alors l'imagination suppléait à la science, et Dieu sait ce que l'imagination est capable d'enfanter en pareilles circonstances.

Les uns appelaient le zinc gris du zinc amorphe, vu qu'il se volatilisait sans fondre en apparence, les autres le qualifiaient de sous-oxyde de zinc, dit pyrophorique, etc., etc. : or rien de semblable n'est vrai.

En janvier et février 1861, voulant mettre fin à l'empirisme qui s'emparait de tous les esprits qui nous environnaient, j'ai fait le travail qui suit, et c'est ce qui me conduisit à ne plus croire à la possibilité industrielle de traiter au haut fourneau, non point des minerais à 5 francs la tonne, mais bien des minerais à 110 francs; alors j'ai communiqué mes notes à mon collaborateur en abandonnant l'entreprise, persuadé qu'elle était sans avenir et ruineuse pour le moment.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

CONDENSATION DES VAPEURS DE ZINC.

Après avoir édifié un haut fourneau à zinc à Gladbach, près Cologne, nous fûmes amenés à reconnaître, en ce qui concerne la réduction de l'oxyde de zinc, que si notre théorie était vraie, elle était aussi insuffisante; attendu que nous ne pûmes jamais recueillir de zinc métallique dans nos condenseurs.

Cette difficulté inattendue me conduisit à faire les recherches suivantes en janvier et février 1861.

§ Ier. **Force élastique des vapeurs de zinc.** — Si l'on prend un creuset liégeois chargé de zinc métallique et qu'on place ce creuset dans un four chauffé au blanc soudant, après l'avoir bien bouché, la force élastique de la vapeur de zinc n'est pas assez grande pour le rompre, la porosité de la cornue laissant passer ces vapeurs en petite quantité; il faut conclure de là que la tension de la vapeur de zinc, aux plus hautes températures connues, dépasse peu la pression atmosphérique, soit 0,76 de mercure. Il est donc plus que probable que si un haut fourneau à zinc était placé dans une chambre de compression semblable à celles employées pour le fonçage des piles de ponts et soumis

Digitized by Google

à une pression de trois à quatre atmosphères, le zinc y coulerait au creuset comme le fer, le cuivre, le plomb, etc., la force élastique de sa vapeur étant inférieure à cette pression, même aux températures les plus élevées que ce haut fourneau pourrait produire. Il ne faut pas compter voir de sitôt de semblables appareils, attendu que leur prix élevé, joint aux difficultés d'employer des ouvriers sous de pareilles pressions, fera encore reculer pendant bien longtemps les innovateurs les plus hardis devant la réalisation et la mise en pratique de ce très-difficile projet.

§ II. **Oxydation de la vapeur de zinc par l'acide carbonique.** — L'acide carbonique CO^2 attaque le zinc dès la température de 400°, et à plus forte raison la vapeur de ce métal, qui ne se produit qu'à la température blanche. Ainsi, si l'on fait passer un courant d'acide carbonique dans un tube de porcelaine chauffé au blanc, et renfermant du zinc qui se réduit en vapeur sous l'influence de cette haute température, on obtient la réaction suivante :

$$Zn + CO^2 = ZnO + CO$$

Le zinc métallique disparaît complétement; et à la fin de l'opération, on ne retrouve plus que de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de carbone.

§ III. **Réduction de l'oxyde de zinc par l'oxyde de carbone.** — Si, dans le même tube chauffé au blanc et rempli d'oxyde de zinc, on fait passer un courant de gaz oxyde de carbone, on obtient la réaction suivante :

$$ZnO + CO = Zn + CO^2$$

Mais comme le zinc est volatilisé et entraîné par le courant, la réaction indiquée au § 2 se produit en second lieu dès que la température s'abaisse; et il se reforme à nouveau de l'oxyde de carbone et de l'oxyde de zinc; de sorte que si le tube sort du fourneau de la longueur de $0^m,40$ à $0^m,60$, on ne fait que chasser l'oxyde de zinc du point le plus chaud de l'appareil au point le plus froid. Dans ces conditions, on n'a donc produit que le déplacement de l'oxyde métallique; il a été changé de place par réaction chimique, mais rien de plus n'est obtenu pratiquement.

Digitized by Google

§ IV. **Zinc pulvérulent, dit zinc gris.** — Cette poussière, que l'on trouve dans tous les condenseurs à zinc de tous les systèmes, se compose de zinc métallique additionné de 4 à 8 p. 100 d'oxyde de zinc, d'oxyde de fer, d'oxyde de plomb, de cendre, de charbon et des divers oxydes que renferment les minerais de zinc. On obtient le zinc gris pur (95 Zn avec 5 ZnO) en faisant passer un courant de gaz neutres ou réducteurs renfermant 5 à 6 p. 100 d'acide carbonique à travers un tube de porcelaine chauffé au blanc et renfermant du zinc métallique qui distille dans un condenseur; dans ces conditions, celui-ci se remplit de zinc gris que certains chimistes ont pendant longtemps considéré comme un sous-oxyde de zinc; il n'en est rien cependant, attendu que ce prétendu sous-oxyde ne correspond à aucune formule chimique. Il brûle à l'air si on l'allume et décompose l'eau à froid, et il distille tout le zinc métallique qu'il renferme si on le chauffe en vase clos.

Examiné à la loupe, le zinc gris ressemble à des grains de plomb de chasse que l'on aurait mouillés, puis saupoudrés de farine; ici c'est l'oxyde de zinc, dit *coton philosophique*, qui remplace la farine.

Exposé à la chaleur, il distille, s'il n'est pas comprimé, attendu que ses grains sont tellement petits et son oxyde tellement léger, qu'il n'y a aucun rapprochement moléculaire possible.

L'oxyde joue le rôle d'éponge; mais si cette éponge métallique est pressée, le zinc fondu s'en écoule avec abondance, comme l'eau ruisselle d'une éponge à la moindre pression.

§ V. **Réduction de l'oxyde de zinc par les gaz des hauts fourneaux.** — Comme, il y a quinze à vingt ans, on trouvait dans quelques ouvrages de chimie et de métallurgie que l'oxyde de zinc n'était pas réduit par les gaz, et dans d'autres, qu'il ne l'était que par l'hydrogène et difficilement par l'oxyde de carbone pur, j'ai essayé sa réduction par les gaz des hauts fourneaux et j'ai reconnu qu'à la chaleur blanche cette réduction se fait avec la plus grande rapidité, contrairement aux idées admises. En effet, si l'on place deux tubes en porcelaine sur deux fourneaux voisins l'un de l'autre; si, dans le second, on met de l'oxyde de zinc exposé à la chaleur blanche et que le premier serve à chauffer au blanc le gaz de haut-fourneau, ce gaz pénètre dans le second tube à une température très-élevée; alors l'oxyde de zinc, n'étant pas refroidi par le courant gazeux, conserve

Digitized by Google

la température du fourneau et est très-rapidement réduit. La composition moyenne en volume du gaz de haut fourneau étant :

Azote.	0,59
Acide carbonique.	0,12
Oxyde de carbone.	0,24
Hydrocarbures divers.	0,02
Hydrogène.	0,03
Total.	1,00

Cette réduction, en grande partie et à cette température, se fait aux dépens de l'oxyde de carbone; on voit que le mélange gazeux, après réduction, renferme, à peu de chose près autant d'acide carbonique que d'oxyde de carbone. Comme à cette température de réduction, le zinc est volatil, ses vapeurs sont entraînées par le courant gazeux et dès que la température tombe au-dessous du rouge cerise-clair, soit 1.200° centésimaux environ, l'oxyde de carbone cesse d'être réducteur, l'acide carbonique attaque énergiquement les grains de zinc qui viennent de se condenser dans le réfrigérant et les transforme en oxyde, ainsi qu'on l'a déjà dit aux §§ 2 et 3.

Dans ce cas, il y a bien eu chimiquement réduction, mais, en pratique, on trouve qu'il n'y a eu que le déplacement de l'oxyde de zinc, du point le plus chaud de l'appareil au point le plus froid, c'est-à-dire au bout du tube qui en sort et qui n'est pas soumis à l'action calorifique du foyer du fourneau.

§ VI. **Sulfure de zinc. Blende.** — Le sulfure de zinc, allié à d'autres sulfures métalliques, peut être facilement isolé par voie sèche; en effet, si l'on prend un minerai renfermant des sulfures de zinc et de plomb, qu'on le broie finement et qu'on l'additionne de charbon en poudre pour réduire le sulfure de zinc et le transformer en sulfure de carbone et en zinc métallique; si, enfin, on ajoute au mélange de l'argile et de la chaux, pour faire avec sa gangue, un silicate multiple et fusible, et introduisant le tout, après malaxage, dans un creuset que l'on chauffe ensuite au blanc, on obtient une abondante distillation de vapeur de zinc et de sulfure de carbone; dans le creuset il reste un culot de plomb sulfuré, surmonté d'un laitier composé de silicates de chaux, d'alumine, etc., etc.

Si le creuset est ouvert, le sulfure de carbone et les vapeurs de zinc

Digitized by Google

sont brûlés pour former de l'acide carbonique, de l'acide sulfureux et de l'oxyde de zinc; mais si le creuset est coiffé d'une allonge conduisant les vapeurs dans un condenseur, dont la température est inférieure à 500°, il s'y produit du sulfure de zinc, et le carbone s'y dépose sous la forme de noir de fumée.

On voit que, dans ce cas, le carbone joue le même rôle à l'égard du sulfure de zinc à haute température que celui que joue l'oxyde de carbone sur l'oxyde de ce métal; il y a réduction à haute température et recomposition des éléments primitifs, pendant la période de refroidissement ou de condensation.

Le résultat final est que le carbone et le sulfure de zinc ont passé du point le plus chaud de l'appareil au point le plus froid et ce déplacement n'a pu se faire que par la réduction du sulfure à haute température et sa reconstitution par refroidissement.

Il résulte de cette expérience que si l'on avait à traiter de grandes quantités de minerais composés de blende et de galène, on pourrait les charger directement dans un cubilot dont l'échappement donnerait dans une grande chambre de dépôt; le sulfure de plomb et le laitier, que je viens de faire connaître, couleraient au creuset et les vapeurs de zinc, ainsi que le sulfure de carbone, seraient brûlés à leur sortie de ce cubilot, soit à leur entrée dans la chambre de dépôt; le sulfure de carbone produirait de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux qui s'en échapperait, et l'oxyde de zinc s'y déposerait, soit pour être vendu comme blanc de zinc commun, ou repris comme oxyde pour être traité et réduit dans les fours pour donner du zinc métallique.

Il est possible que cette méthode soit plus avantageuse que l'emploi des préparations mécaniques, pour la séparation de la blende et de la galène, dans certains pays où l'eau fait défaut et les capitaux aussi.

§ VII. **Oxydation des vapeurs de zinc par les gaz d'un haut fourneau spécial pour le zinc.** — On a vu plus haut que l'oxyde de carbone réduit l'oxyde de zinc à haute température, soit 1.200° environ, et que l'acide carbonique oxyde les vapeurs du zinc à toutes les températures ainsi que le métal jusqu'à son point de fusion, et même le zinc solide au-dessus de celle de 400°.

Il suit de là que, dans un haut fourneau à zinc, quelles que soient les précautions prises pour son chargement, tel que l'emploi du coke

Digitized by Google

étuvé (afin de ne pas donner de vapeur d'eau), de minerais calcinés et de castine aussi calcinée, afin de ne pas donner ni acide carbonique, ni vapeur d'eau, il se produira toujours, quoi qu'on fasse, de l'acide carbonique, attendu que l'oxyde de carbone, formé dans les bas étages du haut fourneau, principalement dans l'ouvrage et dans les étalages, en réduisant l'oxyde de zinc, passera à l'état d'acide carbonique, qui, cheminant avec les vapeurs de zinc, les attaquera, dès que la température tombera au-dessous de 1,200° environ; limite extrême où l'oxyde de carbone cesse d'être réducteur.

Donc, même en échappant les gaz et vapeurs du fourneau par le ventre, cela n'empêchera pas l'acide carbonique d'attaquer les vapeurs de zinc et le métal solidifié dans le condenseur, dès que la température sera inférieure à celle de réduction jusqu'à ce qu'elle se soit abaissée au-dessous de 400°; ceci aura lieu d'autant plus énergiquement que les gaz du haut fourneau renfermeront plus d'acide carbonique; et, comme la limite extrême sera toujours au moins dans le rapport de 1 d'acide carbonique pour 2 d'oxyde de carbone, on voit qu'avec un haut fourneau brûlant 1.300 kil. de coke par tonne de zinc réduit, soit 1.200 kil. de carbone, on aura :

Un CO^2 = 400 kil. de carbone + 1,066 kil. d'oxygène = 1,466 kil.
et deux CO = 800 — + 1,068 — = 1,866 kil.
Total : 1,200 kil. de carbone + 2,132 kil. d'oxygène = 3,332 kil.

Sur ces 3,332 kil. de gaz oxyde de carbone et d'acide carbonique, la moitié de l'oxygène de l'acide carbonique, soit $\frac{1,066}{2} = 533$ kil., se combineront avec la vapeur de zinc entre les températures de 1.200° et de 400° environ, pour former de l'oxyde de zinc $ZnO = 509,37$, se composant de 409,37 de zinc et de 100 d'oxygène. Laissant de côté la fraction 9,37, on voit que 533 kil. d'oxygène d'acide carbonique pourraient se combiner avec quatre fois leur poids de zinc, donc ils pourraient oxyder en ZnO plus de 533 kil. × 4 = 2,132 kil. de vapeurs de zinc, et comme le haut fourneau n'en distillerait que 1,000 kil., il y aurait donc dans l'atmosphère gazeuse plus de deux fois la quantité d'acide carbonique capable d'oxyder la totalité du zinc réduit et distillé par l'appareil; ceci dans les conditions idéales et théoriques les plus favorables, puisque je fais ici abstraction de la vapeur d'eau, ainsi que de l'hydrogène dont les actions sur le métal et les

Digitized by Google

oxydes, sont encore plus énergiques que celles de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone.

Voulant savoir jusqu'à quel point l'oxygène de l'acide carbonique a de l'affinité pour les vapeurs de zinc, j'ai fait (en janvier 1861) l'expérience suivante :

On construisit un four vertical renfermant une cornue, aussi verticale, de $0^m,200$ intérieurement et de $0^m,020$ d'épaisseur de parois; cette cornue, composée de trois tronçons assemblés faisant une hauteur de $3^m,60$, avait une longueur de 3 mètres chauffée au blanc par un foyer de $0^m,40$ sur $0^m,80$ de profondeur; la flamme était renversée et le tirage très-actif, dû à une cheminée de 25 mètres de hauteur, servant d'habitude à une chaudière à vapeur; dans ces conditions, la cornue verticale pouvait être chauffée au blanc suant dans toute sa longueur; elle était percée à la partie inférieure d'un petit trou laissant passer un tube en fer forgé de $0^m,012$ de diamètre. Cette buse fournissait dans l'intérieur de la cornue du vent chauffé à 400°, au moyen d'une vieille chaudière Belleville transformée en appareil à air chaud. Dans le voisinage de l'appareil (*four à une cornue verticale soufflée*), j'avais disposé une caisse en tôle chauffée par un foyer spécial; cette caisse renfermait un mélange de braise de boulanger et de petits morceaux de charbon de bois concassés à la grosseur d'une noix; ce mélange était tenu à la température du rouge cerise, afin d'en chasser jusqu'à la dernière trace d'eau ou de vapeur.

Dans ces conditions, on chauffait au blanc la cornue; on la remplissait du mélange en parties égales de charbon de bois et de braise, préalablement chauffés au rouge et l'on donnait le vent chaud à 400° à son entrée dans l'appareil. Trois mètres de combustible étaient traversés par les produits de la combustion qui passaient à l'état d'oxyde de carbone à une température moyenne de 1.600° sur toute cette hauteur de 3 mètres de colonne remplie du combustible que je viens de dénommer. Malgré toutes ces précautions minutieuses, le gaz qui s'échappait de la cornue renfermait encore 5 p. 1.000 d'acide carbonique à l'analyse.

Cette expérience prouve qu'industriellement il est matériellement impossible de transformer complétement l'acide carbonique en oxyde de carbone.

Le gaz sortant de l'appareil était conduit au moyen d'un tuyau en fer dans un tube en porcelaine placé dans un fourneau chauffé au

Digitized by Google

blanc et renfermant du zinc en ébullition. Ce gaz entraînait les vapeurs métalliques qui venaient se condenser dans un autre tube en verre réfractaire convenablement refroidi par un courant d'eau et relié au tube de porcelaine par une allonge en fer, afin de ne pas soumettre le verre à une température élevée au contact du fourneau.

Dans ces conditions de montage et de marche d'appareil, la plus grande partie du zinc venait se condenser dans le tube en verre, mais les 5 p. 1,000 d'acide carbonique y étaient décomposés par les vapeurs de zinc; aussi, à la sortie du tube en verre, ne constatait-on plus la moindre trace d'acide carbonique dans les gaz; mais on voyait dans ce tube en verre un anneau de zinc gris.

Cette seconde partie de l'expérience prouve que l'affinité de l'oxygène de l'acide carbonique pour le zinc, aux températures supérieures à 400°, est une des plus énergiques et des plus violentes que l'on puisse observer, puisque, malgré la présence de deux cents fois plus de gaz neutres en volume ce $\frac{1}{200}$ d'acide carbonique oxydait les vapeurs de zinc et produisait du zinc gris.

Il suit de là, que la réduction du zinc et sa distillation sont matériellement impossibles sans production de zinc gris ou de sphéroïdes infinitésimaux de zinc métallique, pralinés ou saupoudrés et constituant ledit zinc gris.

§ VIII. **Condensation tubulaire pour les vapeurs de zinc.** — Comme je viens de le faire voir, les gaz qui s'échappent d'un haut fourneau à zinc, avec les vapeurs de ce métal, renferment en moyenne un volume d'acide carbonique pour deux volumes d'oxyde de carbone; donc, tant que la température est supérieure ou au moins égale à celle de la réduction de l'oxyde de zinc, les vapeurs métalliques ne peuvent être oxydées, mais dès que la température tombe au-dessous de cette température limite (1.200° environ), l'oxydation se produit avec rapidité pour décroître en intensité, jusqu'à la température de 400° environ où elle cesse d'être gênante dans la pratique industrielle, quoique, cependant, elle agisse encore au-dessous de cette température sur le zinc pulvérulent. C'est ce qui fait que, dans cet état, ce métal ne saurait être exposé longtemps à un courant d'acide carbonique, même à 200° sans être oxydé, alors qu'à cette température, le même métal fondu, ou mieux encore laminé, semble inaltérable.

Digitized by Google

Il résulte de tout ceci que si l'on veut condenser, avec la plus petite oxydation possible, des vapeurs de zinc, dans une atmosphère de gaz de fourneau, où l'on a deux volumes d'oxyde de carbone pour un volume d'acide carbonique, il faut que cette vapeur passe le plus rapidement possible de la température de réduction par l'oxyde de carbone (soit 1.200 degrés environ) à celle de 300° où l'acide carbonique cesse d'être oxydant industriellement pour quelques instants.

Pour réaliser ces conditions, il faut supposer un corps cylindrique tubulaire semblable à celui d'une locomotive, où pour une différence de pression de $0^m,025$ d'eau, on obtient un refroidissement des gaz de 1.400° à 1.200° à la température de 400° à 300°, pour une longueur de tubes de $3^m,500$ et une vitesse moyenne d'écoulement de 10 mètres à la seconde.

Donc, si une plaque tournante, portant quatre faisceaux tubulaires, présentant une somme de sections donnant une vitesse pratique de 10 mètres par seconde aux gaz du haut fourneau qui les traversent, chacun à leur tour, le refroidissement de 1.200° à 300° se fera dans $\frac{3^m.500}{10} = 1/3$ de seconde environ; de cette façon l'acide carbonique ne pourra agir que pendant 1/3 de seconde sur le zinc pulvérulent, ou sur les vapeurs de zinc; et, dans un temps aussi court, l'oxydation sera peu considérable; à peine 5 à 7 p. 100 seront oxydés; mais ce métal se déposera sur les parois des tubes condenseurs sous forme de zinc gris, pour les raisons que j'ai fait connaître aux §§ 4 et 7.

Comme ce condenseur tubulaire sera rapidement rempli de zinc gris, il faudra le remplacer par un autre, au bout de 10 à 15 minutes.

Si donc, du ventre d'un haut fourneau part une conduite de gaz et de vapeurs, aboutissant à un cadre contre lequel l'un des quatre condenseurs de la plaque tournante viendra toujours s'appuyer, on pourra continuellement refroidir, en 1/3 de seconde les gaz de ce haut fourneau et condenser, sous forme de zinc gris, les vapeurs métalliques qu'ils entraînent, à la condition, bien entendu, que ce condenseur ou réfrigérant, sera constamment parcouru par un courant d'eau froide.

Pendant qu'un condenseur se remplira de zinc, les trois autres, sortant du cadre de la conduite du haut fourneau, pourront être écouvillonnés, brossés et nettoyés à fond, jusqu'à ce que l'un d'eux puisse remplacer par une manœuvre de 3 à 4 secondes celui qui recueille le

Digitized by Google

métal, quand celui-ci, étant complétement rempli, devra sortir du cadre de la conduite de gaz, pour être écouvillonné à son tour.

Le zinc gris, sortant des condenseurs, pourrait être reçu par des caisses en tôle, montées sur roues et faisant wagonnets, pour être de là conduit dans l'atelier de fusion.

Les gaz qui s'échapperaient des condenseurs, entraînant toujours une notable quantité de zinc pulvérulent et d'oxyde, seraient refoulés dans une chambre de dépôt, puis ils traverseraient un laveur condenseur qui les épurerait en retenant les dernières traces de zinc et d'oxyde; après quoi ces gaz seraient dirigés sous des chaudières pour produire de la vapeur.

J'ai voulu vérifier jusqu'à quel point ce système de condensation est possible et pour cela j'ai construit un petit fourneau de $1^m,500$ de hauteur et de $0^m,350$ de diamètre intérieur; ce fourneau était soufflé au moyen d'un soufflet de forge-maréchale, et était muni d'un condensateur fait d'un seul tube en fer de $0^m,040$ de diamètre et de $2^m,500$ de longueur; ce tube était revêtu d'étoupes et de chiffons maintenus sur tout son développement au moyen de quelques fils de fer et dans cet état, il était arrosé par un courant continu d'eau froide.

L'appareil d'essai étant ainsi disposé, je l'ai chargé de charbon de bois et de calamine semblable à celle employée dans les usines à zinc; j'ai obtenu dans ce condenseur rudimentaire 90 p. 100 du zinc renfermé par le minerai; seulement ce métal s'est toujours trouvé dans le tube conducteur à l'état de zinc pulvérulent et j'y ai trouvé rarement quelques grenailles métalliques de la grosseur d'un grain de blé.

Cette expérience prouve que l'on peut traiter au haut fourneau les minerais de zinc et en recueillir les vapeurs dans des condenseurs métalliques tubulaires, à l'état de poussière métallique entre 90 et 95 p. 100 de zinc, pour être fondu après compression à froid; mais, en même temps, on remarquera que pour réaliser en grand un semblable programme, les dépenses de construction seraient considérables, ainsi que les frais généraux de fabrication. De plus, il est probable que la perte en métal, entraînée par les gaz, serait bien plus considérable au haut fourneau que dans les anciens fours. C'est pourquoi de longtemps on ne verra pas construire et fonctionner des hauts fourneaux à zinc, surtout quand on pense qu'aujourd'hui le minerai représente les 2/3 de la valeur du métal (soit 400 fr.) sur la somme du prix de vente de 600 fr. la tonne. C'est ce qui fait que la bonne calamine ordinaire vaut

Digitized by Google

actuellement plus de 140 fr. la tonne et, généralement ce n'est pas dans les hauts fourneaux que l'on traite des matières volatiles d'un prix si élevé.

§ IX. **Agglomération et fusion du zinc gris.** — Comme je viens le faire voir aux §§ 4 et 7, il est impossible de réduire le minerai de zinc sans production de zinc pulvérulent, dans n'importe quelle méthode de traitement, silésienne, anglaise, liégeoise, etc. Ce métal pulvérulent est très-léger et très-poreux ; à peine sa densité arrive-t-elle à 1,00 ; dans cet état, il décompose l'eau à froid ; il brûle rapidement dès qu'on l'allume et il s'oxyde en quelques jours, s'il est exposé à l'air. Enfin, s'il est convenablement et rapidement recueilli, il est pyrophorique et conserve indéfiniment cette propriété, s'il est placé dans un flacon bien bouché.

Le zinc gris, soumis à la compression, prend toutes les apparences du métal fondu ; il en a la cassure, mais il est très-fragile et sans ténacité ; sa densité arrive à 6 (*celle du métal fondu est* 7) si la compression a été faite à la presse hydraulique.

Avec une bonne presse à vis, on peut faire des agglomérés de zinc gris, qui arrivent à la densité de 5, qu'il est inutile de dépasser.

Dans cet état, les lingots agglomérés ne peuvent être gardés en magasin sans s'oxyder petit à petit et, au bout de six mois, un lingot de $0^m,070$ est oxydé jusqu'au centre. *Ces agglomérés de zinc jouissent d'une singulière et très-précieuse propriété, qui est celle de se fondre à la même température que le zinc métallique, sans dissoudre les corps étrangers au zinc.* Ce qui fait que cette fusion correspond à un affinage ; car en effet, dès qu'un aggloméré est exposé à la température de 460°, on voit le zinc métallique en suer par tous ses pores et couler au fond du creuset, tandis que lui (*l'aggloméré*) diminue toujours de volume jusqu'à la fin de la fusion où il arrive souvent à la grosseur d'un crayon qui se brise en trois ou quatre morceaux. L'analyse de ces morceaux de crayon (*soit le squelette de l'aggloméré*) donne en quantité variable, comme le zinc gris, de l'oxyde de zinc, de l'oxyde de plomb, de l'oxyde de fer, de la cendre venant du combustible entraînés mécaniquement, ainsi que divers oxydes de métaux rares dont on ne s'occupe pas en métallurgie pratique et industrielle.

Le zinc gris fondu par ce procédé m'a semblé toujours aussi bien épuré par ce nouveau genre d'affinage qu'il l'aurait pu être par une

Digitized by Google

seconde distillation; en tous cas, cette méthode de tirer parti du zinc pulvérulent doit être préférée à celle de M. Montéfiore Lévy qui, par le battage pendant la fusion, incorpore au métal les oxydes et autres impuretés qu'il faut toujours chasser pour obtenir un métal de bonne qualité.

§ X. **Conclusions.** — 1° Le haut fourneau à zinc n'aurait sa raison d'être réellement que si l'on pouvait se procurer à bas prix (soit entre 10 et 15 fr. la tonne) des minerais de zinc pauvres, renfermant un mélange plus ou moins varié d'autres oxydes métalliques avec gangues diverses, mais pouvant encore cependant donner 6 à 10 p. 100 de zinc métallique à la distillation et 25 à 35 p. 100 de fonte de fer au creuset; sans quoi la marche du haut fourneau ne serait pas possible, le creuset s'engorgeant de laitier qui ne pourrait s'en écouler.

2° Les minerais sulfurés et à l'état de mélange intime de blende et de galène peuvent se traiter au cubilot, pour la séparation du sulfure de plomb et l'oxydation du sulfure de zinc permettant de recueillir le zinc sous la forme d'oxyde dans des chambres de dépôt et dans des laveurs-condenseurs de gaz. (Voir § 6.)

3° Le zinc gris de toutes les méthodes de traitement des minerais de zinc, peut être avantageusement aggloméré [1] et affiné ou épuré par une simple fusion, en faisant un métal fondu d'aussi bonne qualité que le zinc distillé.

1. Une bonne proportion pour lingots est $0^m,070$ de diamètre sur 0,200 de hauteur.

Digitized by Google

ÉTUDES

SUR LES MOYENS

D'UTILISER LES RÉSERVOIRS NATURELS

ET LA CONSTRUCTION ÉCONOMIQUE

DE RÉSERVOIRS ARTIFICIELS

POUR LES

IRRIGATIONS AU CHILI ET DANS LES PAYS ACCIDENTÉS

PAR M. E. ANSART

Le Chili est généralement connu par sa production minérale; ses minerais de cuivre surtout ont inondé les marchés d'Europe et d'Amérique.

La baisse considérable du prix des cuivres, qui fut la conséquence de cet excès de production, l'appauvrissement des gisements et les difficultés d'exploitation en profondeur, ont été la ruine pour ce pays.

Parallèlement à l'exploitation des mines et avec les capitaux qu'elle produisait, le Chili avait héureusement commencé à développer son agriculture, et actuellement toutes les forces de la nation sont dirigées à créer une richesse agricole considérable et, pour ce faire, le gouvernement chilien n'a pas reculé à s'endetter pour étendre son réseau de chemins de fer, afin de transporter les produits, le blé, l'orge, les vins, etc., jusqu'aux ports d'embarquement.

De Valparaiso, le principal port de mer du Pacifique, part une voie ferrée qui, passant par Santiago, capitale de la République, parcourt le pays du nord au sud, jusqu'à Concepcion et se prolongera probablement encore plus au sud, traversant tous les centres agricoles.

Cette grande ligne a environ 800 kilomètres, touche à la mer par ses deux extrémités et peut être mise en communication environ vers son

Digitized by Google

milieu avec le port de Constitution, en améliorant la navigation du fleuve Maule.

La situation géographique du Chili, dans sa zone peuplée et agricole, est comprise entre les degrés 33 et 37 de latitude australe. La terre, à cause de la température élevée et de la sécheresse, n'y est pas productive si elle n'est pas fréquemment arrosée. Les céréales, les prairies, la vigne même, ont besoin de fortes irrigations pendant tout le temps de leur développement, mais spécialement vers la fin du printemps et au commencement de l'été, époques où le temps est invariablement beau et sec. La quantité d'eau annuelle par mètre dans cette zone agricole est d'environ 42 centimètres, mais les pluies ne tombent que dans les mois de juin et de juillet, correspondant à nos mois de décembre et janvier, de sorte que le reste de l'année, la sécheresse est à peu près complète.

A mesure que les cultures s'étendaient, la construction des canaux d'irrigation se développait avec ardeur, mais il arriva un moment où les rivières, saignées complétement, restèrent à sec et l'eau commença à acquérir une plus grande valeur que celle qui correspondait au coût et à l'entretien des canaux d'irrigation.

Actuellement dans la province de Santiago, l'unité d'irrigation (appelée *regador*) qui correspond théoriquement à un volume de 1,300 mètres cubes par vingt-quatre heures, est rarement effectif. Comme effet utile, on ne peut compter que sur 100,000 mètres cubes par an. Le droit à ce volume d'eau annuel coûte 25,000 fr.

Si à l'intérêt de ce capital, 12 p. 100 (intérêt ordinaire du pays), on ajoute les frais d'entretien, d'administration, de distribution et de réparation, on arrive à un coût de 3 centimes par mètre cube d'eau.

Sans eau pas de culture, le prix de l'eau augmentant chaque jour par suite du dessèchement complet des rivières, la situation du pays est critique, et on comprendra donc l'importance qu'il y aurait à trouver de nouvelles sources, ou à emmagasiner pour l'été l'excédant d'eau qui tombe pendant l'hiver et qui s'en va à la mer, et est perdu pour l'agriculture.

Ces recherches et ces nouveaux travaux permettraient de réduire le coût de production, de développer la culture dans les champs encore stériles, enfin de constituer une richesse agricole importante. Jusqu'à présent, le Chili a été la seule des Républiques de l'Amérique du sud qui n'ait pas été bouleversée continuellement par les révolutions et qui

Digitized by Google

se soit dédiée exclusivement au travail. Les capitaux y afflueraient bien certainement, et d'un pays naturellement pauvre il deviendrait un centre agricole des plus importants, si on doublait la richesse en eau par d'importants travaux.

Rechercher des réservoirs naturels ou des localités propres à l'établissement de réservoirs artificiels considérables, pour recueillir les excédants d'eau durant la saison des pluies, et profiter des uns et des autres pour les irrigations aux époques critiques, tel fut le problème qui nous fut posé en mars 1873 et donna lieu au voyage et aux projets de réservoirs que nous allons décrire.

Nous croyons indispensable, pour la clarté de ce mémoire, d'indiquer la situation géographique et la topographie du Chili. Le relief du terrain est essentiellement favorable à l'agriculture par la facilité des irrigations et par le drainage naturel des eaux excédantes; dans la plupart des cas, leur écoulement est facile et elles reviennent au fleuve qui leur a donné naissance; dans certains points, au contraire, elles forment des marais qu'on utilisera par des drainages souterrains.

Le Chili occupe une étroite bande de territoire accidentée et montagneuse, qui s'étend du nord au sud et à l'ouest de la grande chaîne des Cordillières des Andes depuis le degré 24 de latitude australe, situé dans le désert d'Atacama, jusqu'au degré 55 48′ de latitude cap Horn. La largeur varie entre 150 et 180 kilomètres, au maximum, qui correspond au 38° de latitude.

Plus au sud, le territoire se rétrécit, l'océan Pacifique pénètre dans l'intérieur des terres, formant de nombreuses îles, et va jusqu'à baigner le pied de la Cordillière.

Cette étroite bande de terrain doit sa topographie spéciale à deux chaînes de montagnes qui courent parallèlement du nord au sud, formant entre elles une large vallée. Depuis l'extrémité nord jusqu'au degré 33 de latitude, cette grande vallée est fréquemment interrompue par des chaînes transversales qui laissent entre elles des vallées plus étroites dans lesquelles passent les rivières qui descendent de la Cordillière.

A partir du degré 33, apparaît distinctement la grande vallée; en la descendant, on remarque à l'orient la grande chaîne des Andes, avec ses montagnes abruptes, ses défilés rapides, ses flancs rayés par les stratifications aux couleurs variées, ses cônes volcaniques aux profils anguleux et couverts de neiges éternelles.]

Digitized by Google

A l'occident, la chaîne des montagnes de la côte, aux formes arrondies, basses et ressemblant aux vagues de la mer dans sa période d'apaisement. Ces deux chaînes se rapprochent ou s'éloignent, mais la tendance générale est à s'élargir en se dirigeant vers le sud, vers le degré 41 30′ de latitude, la vallée disparaît, la mer l'occupe et il ne reste de la chaîne de la côte qu'une ligne d'îles plus ou moins étendues jusqu'au cap Horn.

Quelle variation de climat, de température, de produits, ne doit pas offrir une étendue de pays de 5,000 kilomètres carrés, situés sur un méridien variant de la zone torride à la zone glaciale.

On le divise généralement en trois régions :

1° Région du nord ou des mines;

2° Région centrale ou agricole;

3° Région australe, forestière ou insulaire.

La première est comprise entre les degrés 24 et 33 de latitude; la grande Cordillière des Andes y est très-puissante, et ses contre-forts ont absorbé par leur relief la chaîne de la côte qui n'apparaît que par intervalle.

Cette région abonde en richesses minérales, le climat y est très-brûlant, les plaines y sont peu fréquentes et, dans la partie nord, manquent complétement. Les neiges dans la montagne sont très-rares, les rivières ont à peine d'eau, la culture est insignifiante et n'est possible seulement qu'en profitant des eaux souterraines.

La seconde région, depuis le degré 33 jusqu'au 44 de latitude, présente uns vallée parfaitement marquée entre les deux chaînes parallèles, c'est la zone agricole par excellence, les rivières y sont volumineuses, les pluies fréquentes surtout dans le sud, et le terrain est en général très-fertile; la végétation spontanée y est abondante.

La troisième région, qui s'étend jusqu'au cap Horn, extrémité méridionale du continent américain, est couvert en général de forêts impénétrables; les pluies y sont presque constantes, la température très-basse, l'agriculture ne peut y prospérer, l'élevage seul pourrait s'y développer, la pêche y serait également un grand élément de richesse, la baleine y abonde et, enfin, l'exploitation des bois de construction et l'extraction des potasses assurent un avenir brillant aux colons qui viendraient s'y établir.

Digitized by Google

Après avoir considéré le pays du nord au sud, examinons-le de l'est à l'ouest, particulièrement dans la deuxième région agricole que nous avons été appelé à étudier spécialement.

De l'est à l'ouest, le terrain a une forte pente qui part de la crête des Andes et va se perdre dans l'océan Pacifique; ce plan est interrompu par les chaînes parallèles aux Andes et il est facile d'y distinguer cinq zones que nous allons examiner.

La première et la plus accidentée est la ligne culminante des Andes, là où il n'existe aucune végétation, ni arbres, ni arbustes et où les neiges sont perpétuelles; basse dans la partie sud, très élevée dans la partie nord, elle n'est coupée que par quelques rares défilés ou cols, qui permettent des communications temporaires avec la République Argentine située de l'autre côté. Beaucoup de pics volcaniques dominent cette zone et de nombreux torrents, produits par la fonte des neiges et les glaciers, donnent naissance aux rivières qui arrosent la vallée centrale.

La seconde zone est formée par une chaîne parallèle aux Andes et reliée à celle-ci par des contre-forts puissants; c'est là où les rivières commencent à prendre corps; le terrain est couvert de forêts en partie détruites, il est vrai, par les exploitants des mines et fonderies; dans l'extrême sud, la mer baigne le pied de cette zone qui est alors couverte de forêts impénétrables.

La troisième zone est la vallée longitudinale proprement dite, elle n'existe bien marquée que dans la deuxième région, et elle est le lieu de la véritable richesse agricole et de la fertilité. Les grandes rivières, qui viennent des Andes et la traversent de l'est à l'ouest pour aller se jeter dans l'océan Pacifique, l'arrosent et y abandonnent leur limon fertilisant. Dans cette zone, se trouvent les populeuses cités, et l'agriculture y a atteint son principal développement.

La partie nord de la vallée centrale, où se trouve la capitale, Santiago (160,000 habitants), est très-élevée au-dessus du niveau de la mer, environ 600 mètres; à partir de cette ville, elle descend à mesure qu'on s'avance vers le sud jusqu'à arriver à la mer; sa largeur est très-variable dans la partie nord, 25 kilomètres; elle est réduite à quelques mètres vers le degré 34 de latitude, et dans le sud elle atteint jusqu'à 50 kilomètres; la longueur de la vallée est d'environ 930 kilomètres, et sa superficie de 46,500 kilomètres carrés.

Le relief de la vallée présente une particularité bien notable; les

Digitized by Google

grandes rivières, qui proviennent de la Cordillière des Andes ou première zone, traversent la vallée perpendiculairement à sa direction; leur lit est plus élevé que le niveau naturel de la vallée. Les petites rivières qui proviennent de la deuxième zone prennent, au contraire, presque immédiatement la direction du nord au sud et, par conséquent, viennent déboucher dans les grandes rivières.

Les premières peuvent donc irriguer facilement les terres de la vallée, puisqu'elles sont situées plus haut, et les secondes recueillent l'excédant des eaux pour les ramener aux rivières principales dont elles sont les affluents.

Ce phénomène est général, aussi saigne-t-on sans crainte les rivières sans s'occuper où les eaux en excès se rendront. Les exceptions, peu nombreuses heureusement, donnent lieu à des marécages qui s'étendent à mesure que les irrigations prennent plus de développement; dans ces points, les terrains sont stériles, mais il serait souvent facile de les drainer et d'en tirer un excellent produit.

La quatrième zone comprend la chaîne des montagnes de la côte; elle comprend des plateaux dominés par quelques pics, qui semblent, par leur position, occuper une situation correspondante aux grands pics de la Cordillière; cette zone était dans la deuxième région au nord couverte de forêts qui ont été détruites complétement et dans le sud subsistent encore. Cette zone, n'ayant pas de montagnes suffisamment élevées pour conserver des neiges pour arroser au printemps et pendant l'été ses plateaux et ses flancs, est en général stérile; les petites vallées qui y prennent naissance sont les seules où il y ait quelques cultures à cause des sources qui surgissent des réservoirs intérieurs que les pluies d'hiver ont alimentés.

Cette zone est coupée par les grandes rivières qui se rendent à la mer, et ces coupures sont en général très-abruptes, de sorte que la zone n'en profitent guère. Ce sont des véritables vallées de fracture.

La cinquième zone occupe l'espace compris entre la chaîne de la côte et les bords de la mer en y comprenant les vallées des grandes rivières qui s'élargissent à leur embouchure; cette zone est la plus étroite, elle est formée fréquemment de plateaux qui dominent les falaises de 40 à 60 mètres de hauteur, baignées par l'océan Pacifique; les vallées qui y débouchent offrent de riches cultures, protégées par le chaîne de la côte; la température y est égale et toujours douce, même en hiver, aussi y voit-on prospérer les plantes tropicales, les

Digitized by Google

brises de mer viennent y tempérer les fortes chaleurs et il est à regretter que cette zone ne soit pas plus étendue et plus arrosée, car elle est la plus fertile qu'il soit possible de rencontrer.

Le véritable centre agricole est donc la vallée centrale entre 33° et 38° de latitude. C'est de son irrigation que nous nous occuperons.

La province de Santiago occupe la partie nord de la vallée centrale; les Espagnols, sous le commandement de Pierre Valdivia, y arrivèrent par terre venant du Pérou, et rencontrant une vallée fertile s'y établirent; Santiago fut fondé et ses habitants se dédièrent à l'agriculture; aussi, comme la plus anciennement découverte et à proximité de Valparaiso, un des principaux ports du Pacifique, la province de Santiago fut la plus cultivée, les premiers canaux y furent construits et aujourd'hui l'eau manque pour arroser son vaste territoire, 770,000 hectares cultivés.

Cette province est traversée à peu près en son milieu par la rivière Maipo, qui est la principale source d'alimentation des canaux d'irrigation.

Une autre rivière, le Mapocho, qui traverse Santiago et part directement de la Cordillière, ne fournit qu'un volume insignifiant, son parcours au-dessus de Santiago n'étant que de 40 kilomètres et dans une vallée très-résserrée, il n'est alimenté que par quelques torrents, son bassin est très-réduit et les flancs des vallons tellement abruptes que les pluies ne pénètrent pas le sol, mais s'écoulent immédiatement : il n'y avait donc pas lieu à faire des recherches de ce côté. Restait le Maipo, celui-ci a un bassin considérable en étendue du nord au sud, des affluents qui descendent de la deuxième zone et de la chaîne principale, des lacs qui occupent les parties les plus élevées et qui n'ont d'autres déversoirs que les infiltrations à travers les couches du terrain.

Des explorations antérieures indiquaient l'existence de certains lacs qui n'étaient marqués sur aucunes cartes et l'on savait que les grandes vallées avaient des parties resserrées où des digues pouvaient être établies.

Le programme du voyage d'exploration arrêté par le préfet de Santiago fut comme suit :

1° Reconnaître les origines du Maipo et de ses affluents; les lacs Noir, del Encagnado, de los Piuquenes, du Diamant et autres; déter-

Digitized by Google

miner leur alimentation, leur volume disponible annuellement et leur rendement total dans un cas de sécheresse ;

2° Reconnaître où le Maipo et ses affluents pourraient être barrés afin d'y former des réserves d'eau pour les époques où les sources ordinaires d'irrigation sont à sec.

Nous ne ferons pas le récit détaillé du voyage, nous nous contenterons d'indiquer les points remarquables du parcours, leur situation géographique, leur hauteur au-dessus du niveau de la mer, et tout ce qui peut avoir quelque intérêt pour le but principal, c'est-à-dire les irrigations.

Le 6 mars 1873, l'expédition partit de Santiago.

Latitude 33° 26′ 42″ S. (observatoire).
Longitude de Paris, 73° 0′ 45″ O.
Hauteur au-dessus du niveau de la mer, 535 mètres.

Elle suivit en direction N.-S. au pied de la Cordillière jusqu'à rencontrer le fleuve Maipo, à une distance d'environ 26 kilomètres ; à partir de ce point, elle cotoya la rive droite la vallée du Maipo, en la remontant ; à quelques kilomètres on trouve les origines des trois canaux qui prennent la moitié du volume d'eau de cette rivière, l'autre moitié appartenant à la rive gauche.

La route côtoie la rivière en général à 30 mètres environ au-dessus de l'eau. A 16 kilomètres de distance, nous trouvons un des principaux affluents du Maipo, le Colorado, qui prend son origine dans la seconde zone et est, par suite, très-volumineux à l'époque des pluies, mais a très-peu d'eau en temps ordinaire. Il n'est pas douteux qu'on pourrait y mettre de l'eau en réserve, mais un inconvénient se présenterait certainement : ses eaux sont toujours fortement chargées de limon argileux, arraché aux flancs de la vallée, derrière les barrages le limon se déposerait et arriverait à combler le réservoir en très-peu de temps.

Après avoir traversé le Colorado, nous continuons notre route jusqu'à la ville de San Jose, située sur la rive droite et au bord du Maipo :

Latitude, 33° 30′ S.
Longitude, 0° 16′ E. de Santiago.
Hauteur au-dessus du niveau de la mer, 1,006 mètres.

A peu de distance de la ville, la vallée se rétrécit de plus en plus,

Digitized by Google

laissant à peine la place pour le passage des eaux et la route qui n'est plus praticable qu'à cheval.

Nous rencontrons sur les deux rives des affluents de peu d'importance qui pénètrent très-peu dans la montagne.

Nous arrivons enfin au point où le Maipo se divise en deux branches, l'une marchant vers le nord et appelée le Yeso, et l'autre vers le sud qui conserve le nom de Maipo.

Nous campons à 21 kilomètres de San José, dans une fonderie pour matte cuivreuse située tout près du confluent et à une hauteur de 1,124 mètres au-dessus du niveau de la mer. La distance parcourue depuis Santiago était de 71 kilomètres. Cette station porte le nom de San Gabriel, c'est le point de rencontre de trois vallées dont les flancs ont plus de 3,000 mètres de hauteur et le lit de rivière environ un demi- kilomètre de largeur.

A partir de l'entrée de la vallée du Maipo, nous avions suivi une route périlleuse par son tracé défectueux et sa mauvaise construction; passé la ville de San José elle devient impraticable aux voitures et dangereuse même à cheval, c'est pourtant la principale route de communication avec la République Argentine et celle par laquelle passent les considérables troupeaux de bœufs qui servent à l'alimentation du Chili central.

La division du Maipo en deux branches correspond à un pic très-élevé de la Cordillière des Andes appelé le volcan de San José, nous aurons l'occasion d'en parler à propos des effets que son soulèvement a produits.

Le jour suivant nous continuons notre exploration, pénétrant dans la vallée du Yeso. Les eaux de cette rivière ont une couleur grise tirant au jaune sale, elles sont fortement chargées de plâtre; c'est, du reste à cette circonstance qu'elle doit son nom qui, en espagnol, signifie plâtre; environ pendant trois heures de marche on rencontre divers petits affluents, la plupart du temps ce sont des cascades tombant presque perpendiculairement, la rivière étant fortement encaissée par suite de l'érosion du fond de la vallée; nous arrivons enfin à un premier affluent de quelque importance, situé à l'ouest, appelé Manzanito, dont les eaux sont claires et limpides et proviennent de la deuxième zone, ou chaîne secondaire parallèle à la Cordillière.

Nous avions des données sur l'existence de lacs dans la partie supérieure de cette rivière. Nous rencontrons effectivement un premier lac

Digitized by Google

de peu d'étendue nommé del Encagnado et, nous élevant sur le versant ouest nous arrivons au lac Noir qui, pendant une partie de l'année, se déverse en cascade dans la lagune del Encagnado et l'alimente le reste de l'année par des infiltrations qui suintent sur le versant est de la vallée.

Comparant les niveaux du fond du lac Noir, celui del Encagnado et le Manzanito, on reconnaît que ces lacs doivent leur origine à la coupure de la vallée par des diks syénitiques de soulèvement qui ont formé des barrages naturels.

La nature a fait dans ce cas précisément ce que nous cherchons à faire, emmagasiner de l'eau en barrant les vallées, et nous verrons à en tirer parti en créant des canaux et des galeries d'écoulement.

Lac Noir. — Le lac Noir a une direction moyenne N.-S. magnétique; sa plus grande longueur est de plus de 5 kilomètres; sa largeur, dans la partie sud et moyenne est d'environ 1,700 mètres; sa forme est cependant irrégulière et, dans la partie nord, un contre-fort de la Cordillière pénètre dans la lagune et la divise en deux branches : l'une, celle de l'est, s'enfonce profondément dans le massif et prend son origine dans un cirque de hautes montagnes toujours couvertes de neiges; l'autre branche est beaucoup moins profonde et est partout entourée de rivages à pics, sur l'un des côtés apparaît une cascade assez volumineuse qui provient probablement d'un petit glacier situé dans un point inaccessible.

Les trois côtés N., E. et O. du lac, se trouvent dominés par de hautes montagnes dont les sommets sont couverts de neiges perpétuelles, tandis que le côté sud atteint à peine 100 mètres au-dessus du niveau du lac, c'est le barrage formé par le soulèvement syénitique.

La couleur de l'eau est le vert tirant au bleu; lorsque l'eau est agitée, le bleu est très-prononcé.

Dans certains points du lac, la coloration tire au rouge par suite d'un nombre considérable d'infusoires de l'espèce hydracna.

Ces infusoires, d'autres de couleur grisâtre, et une variété de ditisques, sont les seuls habitants du lac. On n'y aperçoit aucuns poissons.

La hauteur au-dessus du niveau de la mer, 2,772 mètres, explique la raison de cette stérilité.

Le périmètre du lac est de 15 kilomètres, la surface est de 600 hectares environ et celle du bassin d'alimentation de 5,650 hectares.

Digitized by Google

La profondeur est considérable, elle atteint 279 mètres. Le fond est généralementt composé des détritus des roches porphyyriques et syénitiques des bords, leur couleur est grise ou blanchâtre.

La température de l'eau, vers la fin de l'été était de 10° c.

La température extérieure variait de 0° à six heures du matin à 18° vers deux heures de l'après-midi; le reflet des roches syénitiques blanchâtres, qui s'échauffent fortement au soleil, rendait très-difficiles les observations.

La température d'ébullition de l'eau de neige était de 90° 6′ centigrades.

La situation géographique du lac prise à peu près au milieu de sa largeur et sur le bord sud était :

Latitude, 33° 41′ sud.

Longitude, 0° 32′ 37″ est de Santiago.

Longitude, 72° 33′ de Paris.

Ce lac se déverse pendant l'hiver dans la rivière Manzanito, mais pendant la plus grande partie de l'année, son niveau ne s'abaisse que par les pertes qu'il fait par infiltration et évaporation.

Lac del Encagnado. — Nous avions rencontré avant d'arriver au lac Noir un petit lac nommé del Encagnado qui, outre son bassin spécial, reçoit les eaux du lac Noir par déversement pendant quelques jours seulement de l'année, et continuellement par les infiltrations de ce lac, qui sont très-visibles sur le versant gauche de la vallée del Encagnado ou Manzanito, à environ 60 mètres au-dessus du petit lac et tout près du déversoir du lac Noir.

Le lac del Encagnado est à peu près carré avec ses coins arrondis; sa surface est de 47 hectares, sa profondeur maximum est de 30 mètres, l'étendue du bassin d'alimentation est de 3,500 hectares.

La différence de niveau entre les deux lacs est de 240 mètres.

Le barrage naturel qui coupe la vallée et forme le lac del Encagnado est également syénitique, mais sa largeur est trop considérable pour pouvoir y établir économiquement un barrage naturel et combiner ainsi deux réservoirs échelonnés.

Nous verrons postérieurement comment on peut tirer parti de ces deux lacs comme réservoirs naturels.

Lac des Piuquenes et vallée du Yeso. — Revenons maintenant à la vallée principale du Yeso, nous rencontrerons une gorge très-étroite.

Digitized by Google

La nature de la roche indique qu'il y a eu là un barrage naturel qui appartient à la même formation et se trouve en prolongement de celui du lac Noir ; le barrage a été évidemment détruit par la grande masse d'eau qui se formait derrière; le bassin du Yeso étant très-considérable, le lac l'était également, mais il s'est en grande partie rempli par les détritus qui s'y réunissaient et la digue a été détruite à son sommet par la chute des eaux qui passaient forcément au-dessus d'elle. La preuve de ce fait, c'est qu'à partir de ce point et sur une très-grande longueur en remontant la pente générale de la vallée est beaucoup moindre que dans la partie supérieure et inférieure. La vallée prend alors une largeur inusitée et, au pied du versant est, se trouve encore une lagune appelée des Piuquenes, du nom des oiseaux indigènes qui la fréquentent.

Ce lac est très-étendu mais peu profond, c'est plutôt un marais alimenté par les infiltrations du lac Noir et il est resté sensiblement plus élevé que la vallée du Yeso qui, par de fréquentes crues a continué à s'approfondir et a laissé l'ancienne lagune à un niveau plus élevé.

Ce lac n'a aucune importance puisqu'il se trouve confondu avec la vallée du Yeso dans laquelle nous nous proposons de rétablir le barrage naturel, afin d'y emmagasiner un grand volume d'eau.

Vallée du Yeso. — La vallée du Yeso présente, une fois passé la gorge, une largeur de 1,200 mètres, avec une pente de 3/4 p. 100, par conséquent, en construisant dans la gorge un barrage de 50 mètres de hauteur, on a facilement un lac ou réservoir artificiel dont le fond a 660 hectares de surface, une profondeur moyenne de 25 mètres et un volume d'eau de 200 millions de mètres cubes. Nous entrerons dans plus de détails à cet égard dans la partie de ce mémoire qui traite du parti à tirer de ces richesses hydrauliques.

Continuant notre exploration, à 6 kilomètres de la gorge la vallée se rétrécit et est fortement encaissée; à 12 kilomètres, on rencontre les plâtrières dont les gisements sont très-visibles sur les flancs de la montagne, particulièrement du côté est qui est celui de la Cordillière principale.

A une faible distance de ce point, on distingue bien la formation de la vallée, le versant ouest part du Tupungato, un des pics volcans les plus élevés des Andes (6,710 mètres), tandis que le versant est part du volcan de San José (6,096 mètres).

Digitized by Google

L'influence due au voisinage de ces volcans devient très-manifeste, à 6 kilomètres des platrières, un cahos effrayant se présente; en 1843, une éruption du volcan de San José a soulevé le fond de la vallée avec une telle violence que toutes les roches ont été disloquées et lancées en l'air, elles sont retombées pêle-mêle comme les matériaux d'un grand édifice qui se serait écroulé; cet aspect se continue en remontant la vallée.

A environ 5 kilomètres, un brusque changement de direction, en forme d'S, fait redescendre la rivière vers le sud et côtoyer le volcan de San José et enfin remonter vers le Tupungato, où le Yeso prend sa principale origine.

Au pied du volcan de San José, il semble que la montagne a été fendue de haut en bas parallèlement à la vallée et que la partie superficielle a roulé dans le lit de la rivière.

La coupe ainsi formée présente l'indication des canaux verticaux d'irruption, les roches sont calcinées, ont pris la couleur du violet ou jaune de soufre ; cette coupe, qui a une hauteur de près de 2,000 mètres et est dominée par le volcan de San José, présente l'aspect le plus imposant qu'on puisse voir dans les Cordillières; fréquemment encore, il s'échappe des vapeurs du cône principal et des flancs, et les villes de Santiago et Valparaiso se rappellent avec effroi l'année 1843, date de l'éruption principale.

Ce bouleversement, qui s'étend sur 12 kilomètres, est suivi d'une zone calme et formée de terrains sédimentaires où la tourbe se présente sous forme de couches non noyées ; on les rencontre entre 2,750 mètres à 2,989 mètres au-dessus du niveau de la mer. L'épaisseur des couches est de 1 à 3 décimètres.

A 3,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, la vallée se rétrécit et le Yeso se réduit à deux ravins qui tombent directement du Tupungato, et sont complétement impraticables.

La route que nous avons suivie jusqu'à présent était, comme nous l'avons dit, seulement praticable aux hommes et aux animanx depuis San Jose, et était une des routes de communication entre le Chili et la République Argentine. A partir de ce point, ce n'est plus qn'un sentier escarpé et semé des os des bœufs qui y sont tombés, rendus de fatigue ou par accident, le chemin ne laissant presque partout que le passage pour un seul animal à la fois.

Le sentier s'élève sur le flanc de la montagne, et à partir de

Digitized by Google

3,200 mètres toute végétation disparaît, à 3,700 commencent les neiges perpétuelles dans les endroits non exposés aux rayons du soleil; on passe enfin les neiges perpétuelles vers 4,000 mètres et on arrive au col à 4,157 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Un peu avant d'arriver au point de partage des eaux, on aperçoit le Tupungato, dont la hauteur est de 6,770 mètres au-dessus du niveau de la mer, sa forme est celle d'une pyramide quadrangulaire et l'aspect de ses flancs indique parfaitement son origine volcanique par les scories noirâtres qui sont visibles entre la neige qui couvre en partie le cône.

Le col est connu géographiquement sous le nom de Portillo. C'est une véritable fente dans une muraille rocheuse, elle est à pic du côté nord et s'élève en pente rapide du côté sud.

La formation est calcaire jurassique très-fortement métamorphisé et divisé en prismes comme des pavés.

On y rencontre cependant des empreintes d'ammonites et quelquefois les fossiles eux-mêmes. La hauteur au-dessus du niveau de la mer est de 4,157 mètres.

Nous pûmes observer la couleur bleu-foncé du ciel dans une zone de 45° tout autour du zénith; cette teinte était moins foncée près de l'horizon, mais plus foncée que celle du ciel dans la plaine.

La situation géographique du col est :

Latitude, 33° 38′ 30″.

Longitude, 0° 50′ 40″ de Santiago.

Longitude, 71° 51′ 25″ de Paris.

Le col est sur la ligne frontière du Chili, avec la République Argentine.

La ville la plus voisine est Mendoza, si connue par le tremblement de terre récent qui l'a détruite presque entièrement.

Les tremblements de terre sont du reste très-fréquents dans le voisinage de la Cordillière et se font sentir à des distances de plus de 500 kilomètres.

Nous croyons utile d'indiquer ici le résultat de nos observations sur ces phénomènes qui sont pour ainsi dire journaliers au Chili.

Les mouvements de l'écorce du globe se présentent sous trois formes différentes, suivant la cause qui les a produits :

1° Secousses brusques souvent sans bruit, en général de peu de durée; elles se produisent par les éruptions des volcans et produisent

Digitized by Google

la ruine des édifices situés à proximité et n'ont qu'un effet presque nul à une certaine distance ;

2° Oscillations d'une grande amplitude précédées et accompagnées de bruits souterrains. Leurs effets sont souvent terribles, sur les édifices particulièrement, si les oscillations se répètent à faibles intervalles et ne leur laissent pas reprendre leur position d'équilibre. La cause peut être attribuée à l'affaissement et aux effondrements des cavernes intérieures et voisines de la croûte terrestre. Ces phénomènes se produisent fréquemment sans qu'aucun volcan soit en éruption dans le pays ou son voisinage. On peut comparer avec assez de justesse ces tremblements à une série d'ondes qui se propagent à une grande distance en s'affaiblissant;

3° Tremblements électriques, séries de secousses de peu d'amplitude, mais répétées aussi fréquemment que celles que produisent les trembleurs électriques. Les Cordillières sont presque fréquemment couvertes de lueurs électriques; certains cônes particulièrement sont presque constamment illuminés par des éclairs. Ces tremblements sont très-fréquents et peu dangereux.

Il nous restait à explorer le Maipo proprement dit, à partir de sa jonction avec le Yeso, et reconnaître en particulier si le lac du Diamant qui, suivant l'opinion générale est l'origine du Maipo, mais qui est situé sur le territoire argentin, pouvant être épuisé par des galeries souterraines d'une longueur raisonnable.

A partir du confluent du Yeso, le Maipo suit une direction N.-S. parallèle à la Cordillière des Andes. Il reçoit sur sa rive droite les torrents descendant directement de la chaîne principale et qui portent le nom de rivière du Volcan, del Yesillo, du Diable; et sur sa rive gauche les torrents qui descendent de la chaîne centrale et portent les noms de rivière Blanche, rivière Terreuse, rivière Noire et diverses sources de moindre importance, nommées l'Aharada, l'Arguelles, etc.

Les rives du Maipo sont tantôt escarpées aux points où les contreforts de la montagne ont été rongés par les eaux et tantôt formées de plateaux échelonnés, un peu surélevés au-dessus du lit de la rivière.

Le passage des premiers est excessivement pénible et difficile parcequ'il faut aller chercher un point de la crête accessible et qui est souvent très-élevé. Les plateaux, au contraire, sont faciles à traverser et

Digitized by Google

sont presque tous cultivés et relativement tempérés, quoique se trouvant au sein de la Cordillière.

Partant du confluent du Yeso, à environ une heure de marche, on rencontre le torrent du Volcan; près de son embouchure se trouve une ferme importante située à 1,466 mètres de hauteur, et à la fin de la journée, après avoir passé deux contre-forts considérables et traversé le Maipo, on arrive à la prairie dite des Crapauds, située à 2,047 mètres. Dans la deuxième journée on arrive à la Croix de pierre après avoir traversé deux fois le Maipo et on se trouve à 2,766 mètres de hauteur.

Partant de ce point, la vallée du Maipo s'élargit, la rivière se divise en trois branches. La hauteur est alors de 3,600 mètres. Chaque branche va puiser de l'eau à diverses sources situées sur le versant en forme de cirque. Remontant ce versant jusqu'à la crête, on passe la frontière argentine et, après deux heures de marche, en se dirigeant un peu vers le Nord, on trouve le lac du Diamant dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer est de 3,686 mètres, ce lac était évidemment trop éloigné du versant chilien pour songer à faire des galeries pour en extraire les eaux, mais il est cependant intéressant de le connaître; la superficie du lac est d'environ 4000 hectares; il se trouve sur un plateau dominé par le volcan du Maipo, dont un contre-fort vient jusqu'au bord, il serait facile d'en faire complétement le tour, si ce n'était cet obstacle; la profondeur paraît peu considérable. Du côté de la République Argentine, le lac se déverse dans une petite rivière qu'on nomme du Diamant et dont le volume est de peu d'importance.

Le volcan du Maipo, qui domine le lac, a 5,384 mètres de hauteur et est formé de laves et pierres volcaniques en partie couvertes par des sables éruptifs.

Nous ferons remarquer la différence de formation de ce lac avec ceux que nous avions visités antérieurement; le lac du Diamant est une dépression dans les grands plateaux qui forment le sommet de la Cordillière des Andes et qui sont seulement dominés par les pics et les volcans principaux.

Il y aurait possibilité de construire des digues dans quelques-uns des affluents du Maipo, entre autres le Chiquero. Quant au Maipo entier, il ne serait pas difficile d'y établir un barrage, mais la forte pente du lit et son encaissement ne donneront lieu qu'à un réservoir très-petit.

Une difficulté se présenterait du reste, car le terrain est de propriété

Digitized by Google

privée et cultivé sur les plateaux, et irrigué par des prises d'eau faites au Maipo. Près de sa jonction avec le Yeso, le Maipo disparaît dans une fente évidée à la partie inférieure seulement et formant un pont à la partie supérieure ; la différence de niveau avant et après le pont atteint 15 mètres.

En résumé, la Cordillière proprement dite est fortement escarpée et ne peut fournir un grand volume d'eau; la chaîne centrale, au contraire, est très-étendue et, en général, située au-dessous des neiges éternelles. Les neiges se fondent peu de temps après quelles sont tombées; il y a donc utilité à mettre en réserve ces eaux qui se perdent dans la mer sans aucun profit pour l'agriculture, tandis qu'elles pourraient être utilisées dans la saison chaude.

Or, dans le bassin du Maipo et des affluents, la culture a pris un développement considérable, la province de Santiago est la plus cultivée et la plus peuplée du Chili. L'eau manque pour les cultures actuelles ou se paye à un prix exorbitant; il y a donc lieu de tirer parti des richesses que renferment les Cordillières.

Nous avons reconnu trois points principaux : 1° le lac Noir; 2° le lac et la vallée del Encagnado; 3° la vallée du Yeso.

L'exploitation des deux lacs peut se considérer sous deux points de vue : 1° l'exploitation continue, ou 2° une réserve dans les cas pressants.

Dans le premier cas, il suffit d'arriver à une faible hauteur au-dessous du niveau ordinaire, car les bassins des lacs ont une faible étendue et, par conséquent, le volume de neige ou pluie qu'on peut y recueillir est faible.

Ainsi le lac Noir a une superficie de 600 hectares et son bassin d'alimentation 5,100 environ, soit huit fois et demie plus grand; de sorte que si l'on prend comme chiffre de hauteur de pluie qui tombe par an 65 centimètres, on arrive à une hauteur de $5^{m}.50$, c'est à peu près la différence des hauteurs extrêmes de la lagune; il suffirait donc de faire une tranchée de cette profondeur, ou un peu plus, pour donner un écoulement au volume d'eau annuel disponible qui serait de 6 millions $\times$ $5^{m}.50 =$ 33 millions de mètres cubes; cette tranchée aurait environ 300 mètres de longueur, il conviendrait d'y construire une galerie d'égout afin de laisser au lac son déversoir naturel pour les années où les neiges donnent un volume beaucoup plus considérable, et établir un barrage pour les y retenir.

Considérons maintenant ce que représente ce volume.

Digitized by Google

Le Maipo produit, terme moyen, 3,000 unités d'irrigation, soit 45 mètres cubes par seconde; le lac Noir ne donnerait que ce volume pendant 9 jours, ou soit trente unités pendant 90 jours, soit 10 unités pendant 270 jours, à la disposition du propriétaire.

Cette unité vaut actuellement 25,000 francs, de sorte que le coût des travaux ne devrait pas passer 250,000 francs au maximum.

Quant à la lagune del Encagnado, elle est de beaucoup moindre d'importance et la surface de son bassin n'est que moitié de celle du lac Noir, et ses conditions de construction d'un barrage sont très peu favorables; un ouvrage analogue à l'antérieur ne donnerait qu'un volume d'eau du quart de celui-là.

Sous le deuxième point de vue d'une réserve pour les années excessivement sèches, le lac Noir présente la possibilité de fournir un volume d'eau considérable; en effet, si nous considérons une épaisseur de 32 mètres, la surface, à cette profondeur, est d'environ 4,600,000 mètres carrés, le volume compris sera d'endiron 170,000,000 de mètres cubes.

Si on distribue cette eau en 90 jours, on obtient un volume journalier de près de 2 millions de mètres cubes, ou environ la moitié de ce que fournit le Maipo.

Dans les années de sécheresse, cette rivière se trouve réduite à la moitié de son volume, de sorte qu'avec la lagune Noire on pourrait porter remède à cet état de choses.

Ce brillant avenir a son revers, c'est l'épuisement de la lagune pour plusieurs années, que nous estimerons au minimum à six ans; il serait à craindre que par imprévoyance on ne se servit annuellement de l'eau enmagasinée, et alors le capital employé à la construction de la prise serait trop considérable pour le bénéfice qu'on en retirerait.

Le coût d'une galerie de 800 mètres de longueur, construite de façon à vider la lagune jusqu'à une profondeur de 50 mètres, à compter de sa superficie, serait, y compris les intérêts pendant sa construction, de 1 million de francs.

On voit par ce qui précède que ce travail serait rémunérateur et sauverait l'agriculture des ruines si fréquentes. Le manque de capitaux, l'ignorance et la mauvaise volonté des propriétaires de canaux qui veulent tout accaparer sont la seule cause que ce travail ne s'exécute pas.

Nous venons d'examiner le moyen de tirer parti des réservoirs natu-

Digitized by Google

rels; il serait très-intéressant d'en créer d'artificiels pour retenir les eaux qui viennent en excès à certaines époques.

Diverses conditions sont nécessaires pour qu'on puisse construire ces réservoirs :

1° Grande surface du bassin d'alimentation et sa situation à une hauteur moindre que les neiges permanentes ;

2° Rétrécissement de la vallée, précédé d'un grand évasement d'une certaine étendue en largeur ;

3° Faible pente de la vallée, afin que le réservoir ait également une grande étendue en longueur ;

4° Relativement à la construction, le sol et les côtés sur lesquels la digue s'appuiera devront être suffisamment résistants pour supporter le poids et la poussée de la muraille ;

5° Enfin, comme condition économique, obtenir un volume d'eau annuel constant, dont le coût ne dépasse pas celui qui sert de règle, en général, dans la contrée ou qui soit rémunéré par les cultures qu'on pourra obtenir. ;

6° Rencontrer à proximité les matériaux nécessaires à ces constructions et la possibilité d'y installer des chantiers, si ce n'est permanents, au moins pendant dix mois de l'année ;

7° Pouvoir conduire les eaux de ces réservoirs par les canaux existant et en faire une juste répartition entre les actionnaires du réservoir considéré.

Le problème qui nous était posé trouva sa solution dans une des principales vallées, celle du Yeso ; le volume d'eau qu'on peut y emmagasiner est considérable, et le coût de la digue de 22 millions de francs, fait de cette affaire une entreprise plutôt nationale que particulière et remplissant précisément le programme qui nous était tracé.

Nous allons décrire la localité, les conditions principales du projet, le système de construction que nous avions adopté et le coût de cet important ouvrage.

La vallée du Yeso, dans sa partie haute, présente un bassin dont la topographie est on ne peut plus favorable ; en effet, la pente du lit de la rivière est de 6 millièmes, sa largeur moyenne de 1,100 mètres et le défilé par où s'échappe la rivière a à peine 130 mètres de largeur à la base et en terrain solide.

La surface du terrain d'alimentation de cette partie haute de la rivière est d'environ 288 kilomètres carrés ; si on calcule sur le volume

Digitized by Google

minimum de pluie de 0m.67 de hauteur, nous obtenons un volume total de 193 millions de mètres cube.

Si nous considérons le bassin fermé au défilé par un barrage de 50 mètres de hauteur et si nous divisons la surface en diverses zones avec des profondeurs moyennes, nous obtenons comme volume 184,700,000 mètres cubes distribués comme suit :

Surface en mètres carrés.	Profondeur moyenne.	Volume en mètres cubes.
74.000	48m.80	3.620.000
730.000	45 .40	33.200.000
795.000	42 .50	33.750.000
2.040.000	35 .00	71.500.000
982.000	25 .00	24.550.000
1.244.000	12 .60	15.700.000
735.000	3 .25	2.380.000
6.600.000	»	184.700.000

Considérant les pertes par évaporation, qui sont cependant très-faibles à ces hauteurs, les pertes par infiltration, nous voyons que le réservoir sera bien suffisant pour contenir l'eau tombant pendant une année. Cette quantité d'eau ayant à parcourir un lit de rivière et des canaux dont la longueur moyenne est de 60 kilomètres, mais qui fonctionnent depuis de longues années, on peut considérer que la perte ne dépassera pas 1/3 p. 100 par kilomètre; le volume d'eau rendu sur le terrain à irriguer sera donc de 148 millions de mètres cubes.

Examinons maintenant les dimensions du mur de barrage.

La largeur du défilé, en mettant à nu la roche, est de 155 mètres à la base et 305 mètres à la partie supérieure; distance entre ces deux bases: 50 mètres; profondeur et encastrement des fondations : 5 mètres.

La section du barrage est formée par deux courbes logarithmiques, calculés de telle sorte que, en aucun point, le matériel n'est soumis à une pression plus considérable que celle de 5 kilogrammes par centimètre carré, combinant la pression à l'intérieur avec le poids du matériel placé au-dessus de la section considérée, et traçant la courbe des pressions dans de telles conditions que la pression soit uniformément réparties sur les plans de joints.

Quant au système de construction, comme les roches granitiques se trouvent en blocs sur le point même, on n'a pas le choix, les terrains environnants étant formés par des porphyres trop délitables.

Digitized by Google

En vue de la situation si élevée du réservoir projeté, de l'action des neiges et des glaces sur les parois, nous considérons utile de composer les deux faces extérieure et intérieure du mur de gros blocs de 1 mètre de profondeur et taillés en lits horizontaux, avec leurs joints normaux à la surface ; quant au remplissage intermédiaire, il se ferait en moellons piqués de toutes dimensions formant échelons, afin d'éviter que des fissures se produisent d'un côté à l'autre et laisse passage aux eaux.

Pour les prises d'eau on établirait cinq galeries latérales construites en dehors du mur et échelonnées de 10 mètres en 10 mètres sur la hauteur, de sorte qu'on pourra calculer la dimension des vannes pour satisfaire à l'écoulement sous la pression moyenne de 10 mètres d'eau.

Pour donner plus de résistance encore au mur, on lui donnera en plan la forme en arc de cercle avec 15 mètres de flèche, soit un rayon de 757 mètres.

La partie supérieure du mur aura 8 mètres de large, car il doit servir de route à Mendoza; la partie inférieure des fondations est de 40 mètres d'épaisseur et le volume total de maçonnerie est de 241,141 mètres cubes.

Le coût total du mur du réservoir et de ses accessoires est comme suit :

Fouille en terre ou roche délitée, 117,530 mètres cubes à 3 fr.	352,590
En roche, 77,750 mètres cubes à 7 fr. 50 c.	583,125
Transport de la partie non utilisable, 100,000 mètres cubes à 5 fr.	500,000
Maçonnerie de pierres de taille pour les parties extérieures, 23,164 mètres cubes à 125 fr.	2,895,500
Maçonnerie intérieure en petits matériaux et ciments, 187,977 mètres cubes à 65 fr.	11,218,505
Transport des matériaux à pied-d'œuvre, 473,000 tonnes à 5 fr.	2,364,815
Tubes, vannes et machines pour les lever.	260,000
Conduites en galerie revêtues.	357,500
Construction de logements pour 3000 ouvriers de toutes sortes.	300,000
Réparation du chemin, environ 24 kilomèt., à 10 fr. du mètre.	240,000
10 pour cent pour imprévus.	1,667,183
	18,339,018
Intérêts pendant les trois années que demandera l'exécution, à raison de 10 pour cent l'an, intérêt moyen dans le pays. .	3,600,000
Capital total.	22,000,000

Digitized by Google

Pour établir le coût de l'eau, calculons :

L'intérêt annuel à 10 pour cent.	2,200,000 fr.
Frais d'administration.	80,000
Réparations, entretien annuel des digues, canaux, etc., 1 pour cent.	220,000
	2,500,000 fr.

Pour 148 millions de mètres cubes, nous obtenons 1 centime 7 par mètre cube d'eau, prix de revient d'environ la moitié du prix actuel.

Il n'est pas rare de rencontrer au Chili des propriétés d'une valeur de 2 à 3 millions et elles n'ont cette valeur que par la dotation d'eau qu'elles possèdent. On trouverait certainement entre tous les propriétaires de parts des canaux du Maipo le capital pour exécuter ce travail.

Mais là ne se borne pas le but de ce mémoire. Il y a beaucoup de grandes propriétés qui renferment des ravins assez resserrés en certains points, de profondes dépressions qu'on pourrait utiliser en construisant des digues de faible hauteur pour emmagasiner des eaux.

Le problème général serait donc de construire économiquement des digues de 10, 12 ou 15 mètres.

Les matériaux naturels manquent généralement, ils sont durs à travailler; ce sont des granites ou des syénites, aussi les constructions se font en briques ou en terre mélangée de paille qu'on moule en grosses briques et que l'on fait sécher à l'air. Il n'y à pas à compter sur ces dernières pour les constructions qui nous occupent.

On ne pourrait donc employer que la brique ou la terre à brique qui se trouve en assez grande abondance, mais est toujours chargée de sels effloressents, ce qui donne un aspect désagréable aux constructions en même temps qu'elle nuit à leur résistance.

Le coût du mètre de construction en brique, y compris la main-d'œuvre et le mortier, est de 50 francs avec la chaux ordinaire. Quant au ciment, on n'en a pas encore fabriqué dans le pays et celui de Portland revient à 50 francs la barrique de 200 kilogrammes.

Pour le moellon (brèche hachitique), son coût est de 12 francs le mètre cube à Santiago. On ne peut compter en trouver partout. Le prix de revient de la construction en moellon est d'environ 27 francs le mètre cube tout compris à Santiago et avec la chaux ordinaire.

A ces données sur les constructions, nous ajouterons que le sol est

Digitized by Google

généralement formé de gros cailloux roulés mélangés de sable ; chaque fois qu'on n'a pas à redouter d'affouillement, il suffit de pénétrer d'une faible profondeur pour obtenir une assiette solide.

Il y aura cependant à se préoccuper de la perméabilité du fond, à moins que la couche de terre végétale, en général très-argileuse, ne soit épaisse, auquel cas elle est imperméable et solide.

Le système de construction que nous proposerions serait un mur formant en plan arc de cercle avec 1/10 de flèche, composé de briques de forme spéciale mais toutes égales entre elles, on aurait le soin d'alterner les joints tant horizontaux que verticaux; on pourrait ainsi construire un mur prenant pour base la résistance de 20 kilogrammes pour 1 centimètre carré, faire intérieurement et extérieurement un damage de terre glaise par lit incliné à 45°; recouvrir extérieurement par un gazonnage et intérieurement par un pierré, afin d'éviter l'action des eaux sur la glaise. Nous croyons qu'on obtiendra ainsi l'imperméabilité et la solidité. On pourrait construire à la partie extérieure un petit mur qui soutiendrait la poussée des couches inclinées de glaise au pied des talus.

Nous ferons prochainement un essai de ce système, et nous donnerons des détails sur le coût de cet ouvrage et les dimensions des matériaux.

Digitized by Google

ANALYSE DE L'OUVRAGE DE M. VIGREUX

THÉORIE ET PRATIQUE

DE

L'ART DE L'INGÉNIEUR

DU

CONSTRUCTEUR DE MACHINES

ET DE

L'ENTREPRENEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PAR M. PAUL REGNARD.

Ce très-important travail est une véritable encyclopédie de l'art de l'ingénieur, dont quatorze livraisons seulement ont actuellement paru. L'auteur, ancien élève de l'École de Châlons, puis de l'École Centrale, s'est attaché à y joindre la théorie et la pratique, et à donner, à côté des calculs mathématiques et des démonstrations analytiques de l'ordre le plus élevé, des méthodes simples, accessibles à tous ceux auxquels le calcul différentiel et intégral n'est pas familier.

L'ouvrage entier se composera de deux parties :

1° La partie didactique, divisée en sept séries ;

2° Les applications de la partie didactique aux principales classes d'usines industrielles et de travaux publics.

Ces deux parties comprennent chacune un texte et des planches représentant l'étude complète d'un grand nombre de projets relatifs à toutes les branches de la construction et de l'art de l'ingénieur.

La première partie étant seule en cours de publication, je ne puis vous entretenir avec quelques détails que des quatre livraisons actuel-

Digitized by Google

lement parues, mais il est nécessaire de vous indiquer tout d'abord les grandes divisions de l'ouvrage.

La partie didactique, ainsi que je l'ai dit plus haut, se compose de sept séries, savoir :

Série A. — Résistance des matériaux.
Série B. — Cinématique.
Série C. — Physique industrielle.
Série D. — Hydraulique appliquée.
Série E. — Mécanique appliquée.
Série F. — Construction des machines à vapeur.
Série G. — Construction des machines.

La deuxième partie de l'ouvrage comportera une trentaine de projets, groupés dans les sept divisions suivantes :

Travaux publics.
Usines industrielles.
Machinerie agricole.
Exploitation des mines et métallurgie.
Travaux d'édilité.
Construction navale.
Chemins de fer et traction sur les routes ordinaires.

La première série A, résistance des matériaux, est presque terminée; elle comporte trois fascicules d'introduction, renfermant l'exposé des méthodes, et quatre fascicules de texte, avec les planches correspondantes qui contiennent l'étude détaillée des projets suivants :

Étude d'une transmission de mouvement par engrenages pour un laminoir.

Étude d'un hangar recouvert d'un comble à grande portée, du système Polonceau, supporté par des colonnes en fonte.

Calcul des dimensions des murs de soutènement.

Étude d'une transmission de mouvement par câble métallique et par poulies et courroies.

La série B, cinématique, comportera deux parties; la première, aujourd'hui parue, renferme tout ce qui est relatif, théoriquement et pratiquement, aux engrenages cylindriques, aux engrenages coniques, aux crémaillères, aux vis sans fin, aux engrenages héliçoïdes et hyperboloïdes. Comme dans la première partie, et d'ailleurs, comme

Digitized by Google

dans l'ouvrage entier, l'auteur s'est attaché à faire suivre de projets complétement étudiés les exposés théoriques, et à les traduire dans des applications numériques traitant de la manière la plus complète les formules déduites de la théorie, soit par les méthodes transcendantes, soit par des considérations tirées des mathématiques élémentaires. Jusqu'ici, la détermination des dimensions (rayon primitif et nombre de dents) d'une roue d'engrenage exigeait une série de tâtonnements qui avaient pour but de mettre d'accord les conditions cinématiques avec celles tirées de la résistance des matériaux. A notre connaissance, M. Vigreux est le premier qui ait rendu le problème complétement déterminé en établissant une formule très-simple qui permet de calculer le plus petit rayon primitif à donner à une roue d'engrenage, en fonction du travail à transmettre et du nombre de tours par minute.

La série C, physique industrielle, comprendra plusieurs études de chaudières, séchoir, calorifère.

La première livraison de la partie théorique, seule publiée actuellement, contenant les notions préliminaires, l'étude de la combustion, celles de la détermination de la puissance calorifique des combustibles et des divers problèmes relatifs à la combustion, ainsi qu'à la transmission de la chaleur; l'étude des foyers destinés à brûler le combustible solide, liquide ou gazeux, avec ou sans insufflation d'air. Elle relate les beaux travaux de Péclet, et renferme des tableaux contenant toutes les données utiles, coefficients, etc.

De la série D, hydraulique appliquée, qui comprendra tout ce qui est relatif aux roues, turbines, presses hydrauliques, distribution d'eau, une seule livraison est parue, formant la première introduction dans laquelle sont traités les principaux théorèmes de l'hydrostatique, et ceux de l'hydrodynamique, théorème de Bernouilli, théorème de Bélanger, mouvement permanent des liquides dans les tuyaux de conduite, coefficients, etc.

Les livraisons actuellement parues de la série E, mécanique appliquée comportent d'une part une introduction, où se retrouvent les principes et les démonstrations que nous avons entendu développer par notre regretté maître Bélanger, avec une clarté d'exposition et une précision de termes si remarquables; d'autre part, deux projets, texte et planches, relatifs à des calculs de frottements d'engrenages, à l'étude complète d'un treuil et à celle d'un frein de Prony; cette dernière

Digitized by Google

étude est suivie de la relation d'expériences faites par l'auteur sous la direction et d'après les instructions de M. Ch. Callon.

Enfin, les séries F, construction des machines à vapeur, et G, construction des machines, comprendront : la première, l'étude complète d'une machine complète à condensation et à détente variable à la main, celle d'une machine Woolf à balancier et celle d'une locomobile ; la seconde, un projet de machine soufflante pour haut fourneau, et l'étude générale des appareils de levage.

Puisant aux meilleures sources, et notamment dans les leçons des professeurs éminents de l'École centrale, M, Vigreux a entrepris une œuvre considérable et éminemment utile, dans laquelle il a introduit, sur plusieurs questions, des considérations nouvelles, que lui ont suggérées la pratique et l'expérience.

Parmi ces intéressantes questions, il convient de citer un calcul des dimensions transversales des supports isolés, calcul dont les résultats sont comparés avec ceux obtenus par les méthodes jusqu'ici usitées, — l'étude complète d'une transmission télédynamique, dans le cas le plus général, — une observation intéressante sur un moyen employé avec succès par l'auteur pour éviter les oscillations d'un câble télédynamique de faible longueur, — l'établissement d'une formule servant à déterminer le plus petit rayon à donner à une poulie pour transmettre un travail voulu dans des conditions données.

Cet ouvrage sera d'un grand secours à tous les ingénieurs, non-seulement aux jeunes élèves de l'École Centrale, qui y retrouveront la trace de leurs études et un guide sûr et commode pour les mettre en pratique, mais aussi à tous ceux qui, ayant à élaborer un projet quelconque, y trouveront des exemples variés, et surtout une étude consciencieuse, rigoureuse pourrait-on dire, des moindres parties de chaque ensemble.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS DE BERLIN

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE JANVIER 1877.

Considérations sur la loi de Hirn, par le Dr Gustave Zeuner.

Quand la vapeur saturée ou surchauffée, ayant une pression P 2 et un volume V 2, sans produire de travail intérieur (sans abandonner ni prendre de chaleur) se détend et prend un volume V 1 à une pression P 1 on aura l'équation $P2 \times V2 = P1 \times V1$.

Le travail intérieur de la vapeur est une fonction de P V ou $U = F(PV)$. Suit une discussion approfondie sur les équations de M. Weyrauch.

La courbe des mouvements maxima d'un système de support funiculaire, par le Dr Stahl à Aix-la-Chapelle.

Le mouvement du polygone funiculaire s'opère d'après deux lois.

1° Chaque point d'attache du polygone se meut sur une parabole. Toutes ces paraboles sont semblables et dirigées dans le même sens.

2° Chaque côté du polygone se meut autour d'un point fixe qui est le point d'intersection de deux paraboles trajectoires tracées par les deux points extrêmes.

Théorie du compas universel de Peaucellier et son application à la transmission rectiligne du mouvement, par M. Hulsenberg.

Le parallélogramme de Watt n'a que trois points en ligne droite; la solution indiquée par le professeur Tschebicheff de Pétersbourg donne cinq points en ligne droite. Le compas de Peaucellier connu depuis 1864 n'a pas encore reçu d'application industrielle.

Appareil de distillation et de concentration des eaux ammoniacales de Solvay, par le Dr Gth. Gerbach à Kalk.

L'appareil de Solvay est presque complément inconnu en Allemagne, on en a construit deux à Rome et un à Utrecht. C'est un appareil horizontal à chauffage direct, les vapeurs dégagées traversent les eaux ammoniacales, il est d'une installation facile et d'un fonctionnement régulier.

Note sur la fabrication du sucre de betterave de Rassmus.

L'historique de cette fabrication en Allemagne. La statistique des usines est Autriche 228, Suède 4, Russie 439, Pologne 42, France 483, Belgique 135, Hollande 20, Angleterre 1, Amérique du Nord 2, Italie 2, Allemagne 341. En tout 1697 fabriques consommant ensemble 10 millions de tonnes de betteraves. Les fabriques allemandes produisent 2,630.000

Digitized by Google

tonnes de sucre brut ayant une valeur de 222 millions de francs. En comptant les sous-produits, on arrive au chiffre de 250 millions, c'est 3 2/3 fois la valeur des matières premières.

Tiroir équilibré pour machines à vapeur, par Eugène Schleh.

La vapeur, dans cette disposition; au lieu d'entrer de la boîte à tiroir dans le cylindre et ressortir par le milieu du tiroir pour se déverser dans l'atmosphère ou dans le condensateur, suit la marche inverse, elle pénètre par le milieu du tiroir, entre dans le cylindre et regagne l'air par la boîte à tiroir.

Renseignements sur les cuirs tressés de Barm, par M. A. Blecher.

Cette industrie a son siége dans la vallée de Wiepper, elle est très-peu connue; les cordons, tresses et gances sont laminés, et tressés mécaniquement, à Barm, à Elberfeld, à Schweln et les environs; il y a 1500 métiers dont 1100 à Barm, 250 à Elberfeld et à Schweln 150 qui occupent 3000 ouvriers; les installations ont coûté 12 millions et demi dont 7 millions pour les machines et 5 millions pour les bâtiments, machines à vapeur, etc..

FÉVRIER.

Calcul d'une bielle.

Forage d'un puits de mines de charbon à Liebau en Silésie, par M. Odenbach.

On a employé ponr le forage les lourdes machines de Sache, ainsi que les machines à forer de Burleigh et de Richard Schraum. Les machines d'extraction sont au nombre de deux, une de 100 et l'autre de 200 chevaux, une pompe rotative donnant 3 mètres cube d'eau à la minute.

Groupe de 24 chaudières de 53 mètres carrés de surface de chauffe chacune. Les machines furent exécutées par la société de construction de Prague sous la direction de M. Kley, de Bonn.

Essai au frein d'une turbine à régulateur Zeidler.

L'ess ai a eu lieu chez M. Maile à Hettenbach. La turbine est à basse pression, le diamètre intérieur de la couronne mobile est 1^{m}.700. Pour une hauteur de chute de 1^{m} 08 et 36 tours à la minute on a trouvé un rendement de 85,3. La vitesse de l'eau a été mesurée par l'appareil à ailettes de Woltmann. L'essai a été fait au frein Prony.

Incrustation des chaudières à vapeur, par le Dr J. Fischer.

Procédés divers pour empêcher la formation des dépôts adhérents dans es générateurs à vapeur. Description détaillée de l'influence du zinc métallique sur les dépôts.

Tracé graphique de la production de fonte brute en Écosse depuis 1788 jusqu'à 1875.

Production de l'acier fondu aux États-Unis et en Allemagne.

Explosion d'une chaudière à vapeur verticale à Mulheim-sur-Ruhr.

Digitized by Google

MARS.

Description et théorie d'un régulateur des machines à vapeur dit régulateur cosinus breveté de Grusson.

Ce régulateur peut agir sous un angle d'écartement de 40 à 60° et le poids total du régulateur en mouvement s'exerce sur la tige de transmission. A poids égal il est plus énergique que celui de Buss et coûte moins cher que celui de Watt et de Porter.

Buse articulée pour haut fourneau, par Dornbush.

Cette buse est très-étanche, elle est articulée, se déplace avec la plus grande facilité et n'exige pas le démontage si difficile des conduites du vent.

Appareil pour résoudre mécaniquement les équations d'un degré supérieur par M. Wehage à Mittweide.

Condensateur à clapet sphérique dit pulsomètre de Hall, par M. E. Schaltenbrang.

L'invention a été présentée à la société des ingénieurs de Berlin et après un débat très-vif, le comité de la société a chargé M. Schaltenbrang de faire des essais et de lui en rendre compte. Le résultat de ces essais est très-intéressant au point de vue du rendement du condensateur.

Section à donner au paratonnerre, par le Dr Nippolt.

On admet généralement que dans les conduites en fer d'un paratonnerre, un diamètre de 6 lignes pour une longueur de 64 pieds est suffisant. L'auteur démontre que suivant les métaux, la section doit varier en raison de la résistance à la conductibilité, que l'extrémité du paratonnerre qui est en platine ne résiste jamais à l'élévation de la température due au passage du fluide.

Description de l'hygromètre du professeur Klinkerfues, par le Dr Nippolt.

Treuil roulant à mécanisme différentiel par Zobel Neubert et Co.

AVRIL.

Nouvelle théorie des générateurs à vapeur du professeur Werner.

Construction des pilons à vapeur, par Émile Buchholz.

Fabrication des allumettes suédoises, par le Dr Schoenfliès de Riga.

Mouvement des grosses cloches d'église, par Jorns.

Description du mouvement de la cloche de l'empereur dans la cathédrale de Cologne.

Digitized by Google

MAI.

Détente variable, par Schlink.

Théorie du parallélogramme, par M. Ritershans.

Description du laboratoire d'essais de l'école polytechnique d'Aix-la-Chapelle par M. E. Durre.

Pilons à vapeur à mouvement rapide, par M. J. de Hauer.

Note sur le pulsomètre de Hall, par M. Haber.

N. Sergueeff.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1877)

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

N° 43

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Eaux distillées* (*Propriété des*), observations de M. Derennes (séance du 5 octobre, page 620).

2° *Patinage des roues de locomotives*, par M. Desmousseaux de Givré (séance du 5 octobre, page 621).

3° *Locomotives* (*Applications du système Compound aux machines*), par M. Mallet (séances des 5 et 19 octobre, pages 623 et 659).

4° *Puissance dynamique de gaz* (*Utilisation de la*) par M. Quéruel, (séance du 5 octobre, page 633).

5° *Formule approchée pour calculer les pièces en forme double* ⌶, *soumises à la flexion* (*Nouvelle*), par M. Périssé (séance du 19 octobre, pages 644 et 764).

6° *Corps trempés* (*Constitutions moléculaires des*), par M. Leger (séance du 19 octobre, page 645).

Digitized by Google

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Pontzen, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur l'*Exposition universelle de Philadelphie en* 1876.

De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, et de M. de Magnac, lieutenant de vaisseau, un exemplaire de leur *Traité de navigation.*

Du ministère des Travaux publics d'Italie, un exemplaire du rapport de Mission de l'ingénieur Manganzini, intitulé : *Sulle Opere idrauliche dei Paesi Bassi.*

De M. Gazan, membre de la Société, une note sur les *Hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson.*

De M. Quéruel, membre de la Société, un mémoire sur l'*Utilisation de la puissance dynamique des gaz et essai d'application.*

De M. Vuillemin, membre de la Société, 2 volumes sur l'*Exposition de l'Industrie française*, 1844, par Jules Burat :

7 cahiers de l'*Exposition de Londres en* 1862;

L'Alsace à l'Exposition universelle de 1867, par Charles Prost.

De M. Bidou, membre de la Société, une note sur la *Géologie de la province de Sienne* (Italie).

De M. Rouit, membre de la Société, un exemplaire de ses *Nouveaux Tableaux graphiques donnant les largeurs d'emprise et les surface de déblais et de remblais.*

De M. Imbert, membre de la Société, un exemplaire de son *Album de chaudières à vapeur et appareils divers.*

De M. Finet, membre de la Société, un exemplaire de son *Album des fers spéciaux se laminant en Belgique.*

De M. Poillon membre de la Société, un exemplaire de sa note sur les *Essais de la pompe Greindl, au port de Brest, par les ingénieurs de la marine*, et un exemplaire de ses notes sur les *Pompes.*

De M. Fortet, membre de la Société, un exemplaire d'un Mémoire sur une *Nouvelle méthode pour appareiller les voussoir de tête, voûtes biaises à appareil hélicoïdal elliptique.*

De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire du *Discours qu'il a prononcé aux funérailles de M. Leverrier.*

Digitized by Google

De M. Després (Alphonse), membre de la Société, des exemplaires d'une brochure sur le *Chemin de fer départemental de la Seine, Paris et ses environs.*

De M. Barrault, membre de la Société, un exemplaire d'un *Tableau comparatif des lois sur les brevets d'invention en France et dans les neuf pays les plus importants.*

Académie royale des Lincei, les numéros de leur publication.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de juillet et août 1877.

Annales industrielles, les numéros de juillet et août 1877.

Annales des ponts et chaussées, les numéros de mai et juin 1877.

Annales des mines, le numéro de la 7e livraison de 1877.

Annales du Génie civil, les numéros de juillet et août 1877.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées, les numéros de juillet et août 1877.

Annales de la construction (Nouvelles), les numéros de juillet et août 1877.

Annales des chemins vicinaux, les numéros de juillet et août 1877.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, le numéro de son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, le numéro de son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, les numéros de juillet et août 1877 de son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, les numéros 1 et 2 de son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine, les numéros de septembre et octobre 1877.

Comité des forges de France, les numéros 127 et 128 du bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, les numéros de septembre et octobre 1877.

Courrier municipal (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Digitized by Google

Écho des Mines et de la Métallurgie (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Écho Industriel, les numéros de juillet et août 1877.

Économiste (L') (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Encyclopédie d'architecture, les numéros de juillet et août 1877.

Engineering, les numéros de septembre et octobre 1877.

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago), les numéros de juillet et août 1877.

Gazette des Architectes, le numéros de juillet et août 1877.

Gazette du Village, les numéros de mai et juin 1877.

Iron of science, metals et manufacture (journal), les numéros de juillet, août, septembre et octobre 1877.

Institution of civil Engineers, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1877.

Institution of Mechanical Engineers, les numéros du deuxième trimestre 1877 de son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, les numéros de leurs *Transactions*.

Journal d'Agriculture pratique, les numéros de septembre et octobre 1877.

Journal des Chemins de fer, les numéros de septembre et octobre 1877.

Journal de l'Éclairage au gaz, les numéros de septembre et octobre 1877.

Houille (*La*) (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, les numéros de mai et juin 1877.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Mondes (*Les*) (revue), les numéros de septembre et octobre 1877.

Moniteur des chemins de fer (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Moniteur industriel belge, les numéros de septembre et octobre 1877.

Digitized by Google

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture, les numéros de juillet et août 1877.

Moniteur des travaux publics (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Of the American Society of Civils Engineers Journal, les numéros de septembre et octobre 1877.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (journal), le numéro 4 de 1877.

Portefeuille économique des machines, les numéros de août et septembre 1877.

Réforme économique, les numéros de septembre et octobre 1877.

Revue métallurgique (*La*), les numéros de juillet et août 1877.

Revue maritime et coloniale, le numéro de avril et mai 1877.

Revue d'architecture, les numéros 7 et 8 de l'année 1877.

Revista de obras publicas, les numéros de juillet et août 1877.

Revue des Deux-Mondes, les numéros de septembre et octobre 1877.

Revue horticole, les numéros de septembre et octobre 1877.

Revue universelle des mines et de la métallurgie, le numéro de mars avril 1877.

Semaine des constructeurs (*La*) (journal), les numéros de mai et juin 1877.

Semaine financière (journal), les numéros de juillet et août 1877.

Société de Physique, le numéro de son bulletin du troisième trimestre de l'année 1877.

Société des Ingénieurs anglais, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1876 et 1877.

Société industrielle de Reims, les numéros de son bulletin du troisième trimestre 1877.

Société industrielle de Mulhouse, les numéros de mai et juin 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, les numéros du troisième trimestre de 1877 de leur *Revue périodique*.

Digitized by Google

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, le numéro du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Société d'encouragement, les numéros de septembre et octobre 1877 de son bulletin.

Société de géographie, les numéros de septembre et octobre 1877 de son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, les numéros du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, les numéros du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, le numéro du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, le troisième numéro de son bulletin de 1877.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, les numéros de son bulletin de juillet et août 1877.

Société scientifique industrielle de Marseille, le numéro du troisième trimestre de 1877 de son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, les numéros 5 et 6 de 1877 de son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, le deuxième numéro de 1877 de son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, le tome XXVIII de la quatrième série de son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin du troisième trimestre de 1877.

Société industrielle de Rouen, le numéro du troisième trimestre de l'année 1877 de son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, le troisième numéro de son bulletin.

Société des Etudes coloniales et maritimes, le numéro de son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu, les numéros de juillet et août 1877.

Digitized by Google

Société de géographie commerciale de Bordeaux, les numéros 3 et 4 de son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, le numéro du troisième trimestre de 1877 de son bulletin.

The Engineer (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, les numéros du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, les numéros de juillet et août 1877 de son bulletin.

De M. Bömches, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur l'*Exposition de Vienne* (2 volumes, texte allemand et italien).

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois d'octobre :

MM. Bell, présenté par MM. Desgrange, Dufaure et Richard.
Forcher, présenté par MM. Gottschalk, Komarnicki et De Serres.
Girard, présenté par MM. Al. Gouvy, Loustau et H. Mathieu.
Knight, présenté par MM. Desgrange, Maire et Richard.
Lanier, présenté par MM. Arson, Georgin et le général Morin.

Comme Membre associé :

M. Courant, présenté par MM. Armengaud jeune, Jordan et E. Simon.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

Ve BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

Séance du 5 Octobre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. H. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

MM. QUÉRUEL et MALDANT présentent successivement des réclamations sur la rédaction du procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT consulte l'assemblée, qui décide que ces réclamations ne seront pas admises.

M. DERENNES écrit à M. le Président, pour demander une rectification au procès-verbal de la séance du 3 août :

« Les observations que j'ai présentées dans cette séance sur la propriété qu'ont les eaux distillées et les eaux de pluie, d'attaquer énergiquement certains métaux, ont été résumées en quelques lignes d'une façon inexacte. Comme elles peuvent recevoir des applications fréquentes (réservoirs en zinc et tuyaux de plomb en contact avec l'eau de pluie, appareils distillatoires des navires, pièces de machines en contact avec des eaux de condensation, etc.), permettez-moi de saisir l'occasion d'une rectification nécessaire pour ajouter quelques détails.

J'ai rappelé d'abord quelques cas bien connus de corrosion, relatifs au zinc et surtout au plomb, mais non au fer.

Quand on plonge des lames décapées de plomb ou de zinc dans l'eau distillée ou dans l'eau de pluie en présence de l'air, il se produit dans un temps très-court une poudre cristalline d'hydrocarbonate non adhérente au métal, et cette attaque se continue indéfiniment.

Dans l'eau ordinaire, au contraire, le métal se ternit, et il se recouvre d'un oxyde imperméable formant vernis, qui empêche l'attaque de continuer.

En 1865, M. Langlois, rectifiant diverses opinions erronées ayant cours sur cette question, a montré :

Que l'eau dans laquelle se fait l'attaque ne retient pas trace à l'état soluble du métal attaqué ;

Digitized by Google

Que c'est la présence du bicarbonate de chaux qui empêche l'attaque du plomb ou du zinc par l'eau ordinaire ;

Que la présence du carbonate ou sulfate de soude, ou des chlorures de sodium ou de calcium, ou du sulfate de chaux, n'empêche pas l'attaque s'il n'y a pas de bicarbonate de chaux. (Elle est seulement souvent ralentie.)

J'ajouterai que des lames décapées de plomb ou de zinc plongées dans de l'eau distillée, en contact avec de l'air privé d'acide carbonique, ne subissent ni l'oxydation cristalline indéfinie, ni l'oxydation terne superficielle ; le métal reste brillant. C'est donc l'acide carbonique contenu dans l'air qui est la cause du phénomène.

En ce qui concerne le fer, j'avais dit (et j'ai été heureux de voir que M. Gaudry était arrivé aux mêmes conclusions) que l'attaque a lieu en général dans l'eau ordinaire, de même que dans l'eau distillée, mais que les circonstances du phénomène ne sont pas identiques et que les résultats observés présentent quelques contradictions. L'acide carbonique de l'air paraît ici encore avoir une influence marquée, quoique sa présence ne semble pas nécessaire. »

Après cette observation, le procès-verbal de la séance du 3 août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Bourson et Gruau.

M. LE PRÉSIDENT fait part de la nomination de MM. Courras, Ermel, Level, Eugène Péreire et Polonceau, comme chevaliers de la Légion d'honneur.

M. JULES MORANDIERE analyse une lettre adressée à M. le Président, par M. Desmousseaux de Givré, en *réponse aux questions posées devant l'Académie des sciences par M. Rabeuf, au sujet du patinage des roues de locomotive.*

L'auteur commence par analyser, en gros, les réactions développées (tant sur les roues que sur la partie suspendue de la machine) par la pression de la vapeur, et par l'inertie des pièces ; et il reconnaît aussitôt, au moyen de quelques diagrammes, les positions de l'essieu monté vers lesquelles le patinage, ou du moins la *tendance au patinage* sera maxima ou minima, par l'effet de ces deux genres de forces. Pour déterminer ces positions avec exactitude dans un type donné de locomotive, il faudrait effectuer des calculs que M. Desmousseaux de Givré indique et dont il avait d'ailleurs exposé la méthode dans un travail imprimé en 1864, parmi les *Mémoires* de notre Société.

Si l'on renverse la marche, les actions de la vapeur changent de sens, et les circonstances du patinage sont modifiées entièrement. Au reste, l'auteur a consacré une deuxième partie de son travail à l'établissement d'un programme d'expériences dont les résultats doivent fournir confirmation de la théorie.

En troisième lieu, M. Desmousseaux de Givré s'occupe des moyens

Digitized by Google

d'obvier à ces glissements fâcheux, causés par les inerties et par les actions de la vapeur; et ainsi il propose un système de locomotive à deux cylindres doubles, en chacun desquels se mouvraient, en sens inverses, et symétriquement, deux pistons identiques : l'un commandant un essieu placé en avant des cylindres, l'autre commandant un essieu placé en arrière. Ainsi : deux cylindres doubles placés entre deux essieux moteurs, quatre pistons, quatre manivelles motrices, et (comme à l'ordinaire) deux bielles d'accouplement réunissant ces deux essieux[1].

M. Desmousseaux de Givré remercie M. Jules Morandiere d'avoir eu la bonté de faire cette analyse, et ajoute quelques explications. Le système de locomotives dont la description et le diagramme sont aujourd'hui présentés à la Société a été imaginé par M. Morandiere et moi, depuis plus de quinze ans. Ses principaux avantages consistent en ceci :

1° Les inerties sont équilibrées ;

2° Les actions de la vapeur ne sont point exactement équilibrées, il est vrai — cela ne se peut — mais elles sont également réparties sur les deux essieux moteurs : chose favorable à l'économie des bandages et à la stabilité. Seulement (comme il résulte des considérations antérieures) on devra charger l'essieu moteur d'avant un peu plus que l'essieu moteur d'arrière ;

3° Les inerties étant équilibrées et les actions de la vapeur se trouvant également réparties, cette locomotive dépassera les vitesses kilométriques réalisées jusqu'à ce jour.

Aussi avons-nous proposé ce système à M. Nozo, vers 1863, lorsqu'on étudiait au chemin de fer du Nord les machines à quatre cylindres pour voyageurs[2].

Nous avions conçu deux types : l'un avec cylindres intérieurs et bielles d'accouplement extérieures ; l'autre avec cylindres extérieurs et bielles d'accouplement intérieures, agissant sur des essieux coudés.

Le second type ne présente point, en sa construction, des difficultés insurmontables, mais il est évidemment loin de valoir le premier.

Si l'on rejette notre solution, il faudra qu'on en trouve une autre : car — c'est le point auquel nous nous attacherons le plus — la locomotive usuelle, à deux cylindres et deux manivelles à angles droit, est *actuellement impropre aux services de très-grande vitesse* (90 à 100 ou 120 kilomètres).

M. Henri Mathieu demande quelle est la proportion observée pour le patinage de la locomotive.

M. Morandiere croit se rappeler que, dans la note de M. Rabeuf, ce patinage a été en moyenne de 20 pour 100, c'est-à-dire que la locomotive parcourrait sur les rails 100 kilomètres à l'heure, alors que le mécanisme de la locomotive faisait un nombre de tours correspondant à 120 kilomètres.

M. Mallet croit savoir qu'au chemin de fer de l'Uetliberg, chemin à

1. Il n'y aurait, comme d'ordinaire, que deux tiroirs et deux appareils de distribution.

2. Les machines que l'on a construites ont, au contraire, *quatre cylindres indépendants*. Elles n'ont pu faire le service express auquel elles étaient destinées.

Digitized by Google

rampes de 70 millièmes, exploité par des locomotives ordinaires, et qu'il a décrit dans la séance du 7 mai 1875, il a été fait des expériences pour mesurer la différence entre le développement des roues de la locomotive effectuant un nombre de tours donné par un compteur et la longueur des rails, on a trouvé que cette différence était très-considérable, et accusait par suite un glissement important. On a invoqué en faveur des chemins de fer à crémaillère l'influence importante de la suppression du patinage en faveur de la dépense de vapeur; et il y a un fait positif, c'est que sur ces chemins de fer on a constaté une consommation relativement très-modérée de combustible eu égard au travail effectué.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Mallet sur l'application du système Compound aux machines locomotives.

M. Mallet rappelle que dans les séances des 5 et 19 janvier, il y a eu l'honneur d'exposer, devant la Société, quelques considérations sur l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives; la communication qu'il fait aujourd'hui peut être considérée comme la suite et la conclusion de la première.

Il est bien établi actuellement que la cause principale de la différence, souvent énorme, toujours notable, qui existe entre les quantités de vapeur nécessaires théoriquement et pratiquement pour la production de l'unité de puissance est due en très-grande partie à la condensation au cylindre pendant l'admission, condensation que les diagrammes d'indicateur n'accusent pas tout au moins directement[1]. On a cherché à réduire cette cause de perte en employant la surchauffe, les enveloppes de vapeur; on a proposé également de revêtir les surfaces en contact avec la vapeur d'une couche de matière de moindres conductibilité et capacité pour la chaleur, telle que le plomb, le verre ou la porcelaine. M. Mallet expliquait que ces divers moyens sont d'une application difficile et peu sûre, tandis que l'emploi de la détente en cylindres successifs ou fonctionnement Compound pouvait s'adapter facilement et avec les plus sérieuses chances de succès aux machines locomotives.

L'expérience n'avait jamais été faite, car le système connu sous le nom d'expansion continue et appliqué en 1852, par Samuel, à une ou deux locomotives du chemin de fer *Eastern-Counties* n'a qu'un rapport lointain avec le système Compound. On sait que ce système consiste à introduire de la vapeur dans un premier cylindre, puis, lorsque le piston est au milieu de sa course, à mettre le cylindre en communication avec un second, dont le piston commande une manivelle à angle droit de la première; la vapeur se détend dans les deux cylindres simultanément, jusqu'à la fin de la course

1. M. Ledoux a publié tout récemment dans les *Annales des Mines*, un mémoire important sur les condensations de vapeur dans les cylindres des locomotives; mémoire dans lequel il développe un mode de calcul permettant de déduire d'un diagramme d'indicateur, la quantité de vapeur effectivement dépensée.

Digitized by Google

du premier, celui-ci échappe alors au condenseur; la détente continue ensuite dans le second cylindre jusqu'à la fin de sa course. Ce système ne présente nullement l'avantage capital du système Compound car chacun des cylindres, comme M. Mallet le fait voir par un diagramme, reste soumis à la chute totale de température, entre celle de la chaudière et celle qui correspond à l'échappement. Il est d'ailleurs compliqué en ce qu'il exige trois tiroirs en mouvement, et un tiroir d'arrêt pour permettre à la machine de fonctionner comme machine ordinaire. Ce système a été reproduit avec quelques variantes, il y a une dizaine d'années, par MM. Stewart et Nicholson, et appliqué à des remorqueurs de la Tamise; mais depuis l'emploi de la machine Compound actuelle, il a définitivement disparu, n'ayant plus de raison d'être.

M. MALLET ne parlera donc que du système Compound, proprement dit, et il demande la permission de défendre tout d'abord cette expression que, a dit son honorable collègue, M. Jules Gaudry, dans la dernière séance, les Ingénieurs français ont assez étrangement adoptée, quand on pouvait tout simplement dire machine Woolf, ce qui est compris de tous. Est-il bien sûr que tous comprennent mieux le nom de Woolf que celui de Compound? Cette dernière expression indique clairement la double idée de l'action *multiple* de la vapeur et de l'arrangement *combiné* des cylindres par opposition à une action et à un arrangement *simples;* d'ailleurs le fonctionnement de Woolf, qui doit s'entendre uniquement des machines ayant des pistons à mouvement parallèle ou opposé, n'est qu'un cas particulier du fonctionnement Compound, et il a l'inconvénient grave d'éveiller l'idée d'arrangements compliqués, pour des appareils ayant des manivelles à angle droit, tels que les machines de navigation ou les locomotives.

Le mot de Woolf pouvait et devait suffire, tant qu'il n'existait que des machines de ce genre, et encore il eût été plus juste de leur donner le nom d'Hornblower le véritable inventeur du principe; mais depuis l'emploi devenu si universel en marine des machines à réservoir intermédiaire et manivelles à angle droit; il était nécessaire d'avoir une expression plus générale. Celle de Compound a le mérite d'être brève et précise, aussi a-t-elle prévalu et il n'y a pas à le regretter. Il n'est pas plus logique d'appeler machine de Woolf l'appareil qui va être décrit plus loin, que de désigner sous le nom de machine de Watt, une machine Corliss par exemple, sous prétexte qu'elle a un cylindre, un piston et un condenseur.

M. MALLET a fait la première application du système Compound à la locomotive, sur trois machines construites au Creusot, pour le chemin de fer d'intérêt local à voie normale, de Bayonne à Biarritz. Par suite de diverses circonstances, ces machines dont on avait pu constater, l'année dernière déjà le bon fonctionnement matériel[1], ne sont entrées en service régulier qu'au mois de juin dernier, à l'ouverture de la ligne, et M. Mallet a dû

1. Séance du 7 juillet 1876.

Digitized by Google

attendre qu'elles eussent fait un parcours assez prolongé pour venir présenter à la Société les résultats pratiques qu'il a obtenus.

Les machines dont il est question ne diffèrent des machines ordinaires que par l'inégalité de diamètre des deux cylindres et par la disposition des communications entre ces cylindres opérées par l'entremise d'un tiroir particulier, désigné à cause de son objet principal et de sa disposition par le nom de *tiroir de démarrage*.

Dans le fonctionnement normal ou Compound, la vapeur qui a agi au petit cylindre passe dans le grand cylindre, puis s'échappe dans la cheminée. Mais au départ, pour assurer le démarrage, on renverse la position du tiroir spécial, et alors la vapeur de la chaudière arrive directement sur chacun des deux pistons, puis, après avoir agi, s'échappe directement dans la cheminée. Cette disposition est bien supérieure à celle qui consiste à envoyer tout simplement de la vapeur de la chaudière au grand cylindre; cette dernière suffit pour les machines marines qui n'ont pas d'effort à exercer au départ, mais elle serait radicalement impuissante sur une locomotive.

Le tiroir de démarrage sert en outre à augmenter la puissance de la machine, lorsqu'on a un effort momentané et considérable à exercer, comme sur une rampe, par exemple. Il est mu par une tige à vis et un volant disposé symétriquement à celui du changement de marche et sa manœuvre ne présente aucune difficulté.

Voici les dimensions principales des machines du chemin de fer de Bayonne à Biarritz :

Surface de grille.	1^{mq}.00
Surface de chauffe du foyer.	4 .60
Surface de chauffe totale.	45 .00
Longueur des tubes.	2 .40
Timbre de la chaudière.	10^{kg}
Diamètre du petit cylindre.	0 .24
Diamètre du grand cylindre.	0 .40
Course des pistons.	0 .45
Diamètre des roues, milieu et avant.	1 .20
Diamètre des roues, arrière.	0 .90
Poids de la machine vide.	15 500^{kg}
Poids de la machine avec approvisionnements complets.	19 500
Poids adhérent.	15 200

Depuis l'ouverture de la ligne jusqu'à ce jour, les machines, dont il est question, ont parcouru 50 000 kilomètres en nombre rond; si on y ajoute 3 300 kilomètres effectués pendant les travaux, et 2880 kilomètres faits par l'une d'elles, au chemin de fer d'Orléans, sur la ligne de Villefranche-sur-Cher à Romorantin, on arrive à un total de 56 000 kilomètres, ce qui donnerait pour chacune une moyenne de 18 700 kilomètres, mais le parcours se répartissant assez inégalement, par suite de diverses circonstances, entre

Digitized by Google

les trois machines, l'une d'elles doit avoir actuellement fait bien près de 25 000 kilomètres.

Ce parcours est assez important pour qu'on puisse regarder comme positifs les résultats constatés.

Ces résultats peuvent être considérés, relativement à trois ordres d'idées distincts : 1° Allure de la machine; 2° Production de vapeur; 3° Économie réalisée par le fonctionnement Compound.

M. Mallet examine d'abord les deux premières questions, au sujet desquelles il s'était produit à l'origine des objections qui avaient fait accueillir par la plupart des Ingénieurs de chemins de fer son projet de machine Compound avec une grande réserve, quelquefois même avec une défiance non dissimulée.

1° Une idée très-accréditée était que la machine ayant deux cylindres inégaux, et le travail de ces deux cylindres ne pouvant être rigoureusement identique, il en résulterait une allure irrégulière et défavorable, soit à la stabilité de la machine, soit à la conservation des organes.

Il est juste de dire que d'autres personnes, d'accord en cela avec l'auteur, n'attachaient à cette considération qu'une médiocre importance. « La dissymétrie du mécanisme, écrivait M. l'inspecteur général Couche, ne paraît pas incompatible avec une bonne allure de la machine[1]. »

L'expérience a prononcé; non-seulement, pendant le parcours considérable qu'ont effectué les machines, rien n'a pu accuser une stabilité inférieure à celle des machines ordinaires, mais même les diagrammes relevés au dynamomètre de traction, dans des expériences faites sur le chemin de fer d'Orléans, entre Paris et Choisy-le-Roy, ont indiqué une régularité dans l'effort de traction tout à fait satisfaisante. Il est absolument impossible à un observateur non prévenu, ou tout au moins non influencé par un parti pris, ou une idée préconçue, placé soit sur la machine, soit sur les plateformes des voitures disposées à la façon de celles des tramways, de distinguer à l'allure, la machine d'une machine ordinaire.

2° On avait également avancé que la réduction à moitié du nombre des coups d'échappement dans la marche Compound, diminuerait le tirage au point de rendre insuffisante la production de vapeur. En vain l'auteur répondait-il que la dépense de vapeur diminuant par suite de la meilleure utilisation, on pouvait accepter une certaine réduction dans le tirage.

Le fait est que, malgré les dimensions restreintes de la chaudière, 45 mètres carrés de surface de chauffe totale, la vaporisation est dans tous les cas parfaitement suffisante pour les besoins de la machine. C'est ce qu'on a constaté très-nettement en service régulier; on peut, en outre, citer d'autres faits à l'appui. Dans une expérience faite, le 16 mai, entre Paris et Choisy-le-Roy avec un train de marchandises, composé de 19 wagons formant une charge brute de 204 tonnes, machine non comprise, la dépense en eau mesurée a été de 576 litres en 15 minutes, correspondant à 50 litres

1. Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer, t. III, p. 749.

Digitized by Google

en nombre rond, par mètre carré de surface de chauffe totale et par heure, à la vitesse de 135 tours par minute en moyenne, ce qui n'a rien d'exagéré.

Cette vaporisation est certainement des plus satisfaisantes, d'autant plus que l'échappement n'était pas serré, et que rien ne fait supposer un entraînement d'eau différent de ce qu'il est dans la grande masse des machines.

Comme on le verra plus loin, les machines développent en service régulier. et pendant un temps notable, un travail qui s'élève à 145 ou 150 chevaux indiqués, et qui n'est pas d'ailleurs la limite de leur puissance, car il atteint quelquefois 180, ce qui fait 3 à 3,3 chevaux indiqués par mètre carré de surface de chauffe. Ce résultat n'a rien d'inférieur à ceux des machines ordinaires.

3° Résultats économiques. Pour pouvoir juger cette question, il est nécessaire d'entrer dans quelques développements, au sujet du travail réalisé par les machines.

M. Mallet a figuré au tableau le profil général du chemin de fer de Bayonne à Biarritz.

Le tracé comporte, dans un sens, 2500 mètres environ de rampe continue de $15^m/_m$ et 800 mètres de rampe de 12,5, et dans l'autre 700 mètres de rampe de 14,5, avec cette circonstance que cette rampe part presque de la gare de Biarritz et que par conséquent on ne peut compter sur une accumulation sérieuse de puissance vive pour aider à la franchir.

La vitesse moyenne de marche est de 32 kilomètres environ et la vitesse maxima de 40.

Le matériel de transport se compose de voitures à impériales, d'un type spécial, contenant 80 places, pesant vides 8,5 tonnes environ, et avec chargement complet 13,5 tonnes au moins, de voitures de 3e classe du Midi, pesant 10 tonnes en charge et de voitures de 3e classe un peu plus légères.

Actuellement il y a 58 trains par jour, soit à raison de 8 kilomètres, un parcours total journalier de 464 kilomètres. Les jour de fête on a fait jusqu'à 84 trains.

En semaine, le poids moyen des trains peut être dans cette saison de 45 tonnes en moyenne, mais il s'élève fréquemment à 50 tonnes; et de plus, certains jours d'affluence fréquents en été à 60 et même 70 tonnes, toujours sans la machine. On a même atteint 85 tonnes.

En comptant la charge moyenne à 50 tonnes, on sera plutôt au dessous de la vérité qu'au-dessus.

Les voitures non surbaissées offrent beaucoup de prise au vent, elles sont très-longues et ont des roues d'assez petit diamètre, elles présentent des résistances considérables dans les courbes, dont le rayon descend à 400 mètres.

On brûle, autant que possible, du charbon de Cardiff, qu'il est d'ailleurs facile de se procurer à bon compte à Bayonne.

M. Mallet a rapporté les quantités brutes de combustible allouées aux

Digitized by Google

machines au parcours kilométrique correspondant, sans faire de défalcation, pour allumage, stationnements, etc.; cette manière de compter donne évidemment des chiffres trop forts, mais elle a l'avantage de supprimer les incertitudes dues à des répartitions plus ou moins arbitraires. On a de plus pris des périodes de parcours aussi longues que possibles effectuées par la même machine, dans des conditions sensiblement constantes de service et d'entretien, et avec le même combustible. On constate, par exemple, que la machine n° 3 a, du 29 juillet a 3 octobre, effectué 17 360 kilomètres avec 66 660 kilogrammes de combustible, soit une dépense kilométrique de $3^{kg},83$.

Du 16 juillet au 28, la machine n° 2 a fait 2 056 kilomètres avec 7 722 kilogrammes, soit $3^{kg},750$ par kilomètre, et du 2 septembre au 3 octobre 7 072 kilomètres avec 26 888 kilogrammes, soit $3^{k},80$, ce qui donne pour cette machine une moyenne totale de $3^{k},79$. La moyenne générale des trois machines, un peu élevée par l'emploi momentané d'un combustible inférieur et par le moins bon état de la machine n° 1, qui avait servi aux travaux de la ligne, est pour la période de juillet à octobre de $3^{kg},98$ pour 32 392 kilomètres.

Il est bon de faire remarquer que les mécaniciens qui conduisent ces machines sont de simples ouvriers ajusteurs, sans apprentissage spécial et qu'il n'y a point de primes qui les intéressent à faire des économies. Au contraire, par suite des exigences du service et de l'insuffisance du matériel, chaque machine est conduite successivement par deux machinistes, ce qui est une raison de plus pour que les résultats constatés soient dégagés de toute influence particulièrement favorable.

En somme, ces machines dépensent 32 kilogrammes pour faire le trajet de Bayonne à Biarritz, ce qui, à 28 francs la tonne, représente une dépense en argent de *quatre-vingt-dix centimes*, pour transporter à 8 kilomètres de distance un nombre de voyageurs qui dépasse quelquefois *quatre cents*. C'est un exemple éloquent de l'économie réalisée dans les transports par les moteurs mécaniques.

On se rappelle que, dans la séance du 21 avril 1876, M. Mékarski, au cours de la discussion engagée au sujet de ses moteurs à air comprimé, contestait que la dépense des petites machines à vapeur pour tramways put s'abaisser à 2 ou 3 kilogrammes par cheval, ce qui représente à peine, disait-il, la dépense des grandes locomotives des chemins de fer.

M. Mallet a cherché à se rendre compte, *grosso modo*, de ce que pourrait représenter la dépense des machines de Biarritz, rapportée à l'unité de puissance développée sur les pistons. En tenant compte de la charge et du profil, on arrive à trouver un travail moyen pour tout le parcours, aller et retour, de 75 chevaux indiqués environ. Mais si on tient compte dans une certaine mesure de la dépense de force vive employée à mener très-rapidement le train à sa vitesse normale, laquelle force vive est en partie reprise inutilement par le frottement des freins lors du ralentissement et de l'arrêt, on conviendra facilement que le travail moyen doit s'élever à 80 chevaux

Digitized by Google

au moins. Le travail mesuré à l'indicateur sur les pistons dans des conditions de pression et d'introduction semblables à celle de la marche moyenne, accuse un travail de 80 à 90 chevaux. Si on compte seulement 80 chevaux, on trouvera une dépense par cheval de $\frac{4.000 \times 32}{80} = 1^{kg},60$.

Ce chiffre n'est certes pas trop élevé, mais il y a plus; pour une appréciation de ce genre, il faudrait ne tenir compte que du combustible dépensé en marche. Si donc on défalquait le charbon dépensé pour l'allumage, qui à 60 kilogrammes au moins représente $0^{kg},210$ par kilomètre, les stationnements, etc., on arrivait à un chiffre probablement inférieur à $1^{kg},500$. Ce chiffre est d'autant plus satisfaisant qu'il ne faut pas oublier que pendant une partie du parcours, sur la rampe de 15, la machine développe un travail à peu près double, soit 150 chevaux. Il prouve que, locomotive à part, il est intéressant de faire des machines Compound même sans condensation, ce qui avait été généralement contesté jusqu'ici.

$1^{kg},500$ de charbon à $8^{kg},5$ d'eau vaporisée par kilogramme de charbon, correspond à $12^{kg},75$, ou à 8^{gk} à 12 kilogrammes d'eau par cheval indiqué.

Une machine à vapeur *parfaite*, c'est-à-dire détendant jusque à la contre-pression, dépenserait d'après Zeuner, pour 8 atmosphères de pression effective, $8^{kg},217$; le rendement serait donc de 65 à 68 pour 100 environ. Si M. Mallet insiste sur ce fait c'est que, tandis que certaines personnes exagèrent la dépense des machines-locomotives, d'autres, sur la foi de calculs élastiques, l'évaluent à des chiffres tellement bas qu'ils arrivent à tomber au-dessous des chiffres théoriques. On pourrait rappeler que, dans certaines séances de la Société, il y a quelques années, un de nos collègues a cru pouvoir démontrer qu'une machine Engerth dépensait 880 grammes de charbon par *cheval net*, ce qui aurait mis la dépense par cheval brut à environ 750 grammes. Ces exagérations tiennent simplement, comme M. Mallet a déjà eu l'occasion de le signaler à propos d'autres machines, à ce qu'on divise la consommation d'une heure par un travail maximum que la machine a peut-être effectué seulement pendant quelques minutes.

Avant de quitter le sujet des machines de Biarritz, M. Mallet croit devoir insister sur ce fait que depuis qu'elles ont été mises en marche, il ne s'est jamais produit ni un arrêt, ni même un retard quelconque attribuable au mode de fonctionnement ou aux organes qui s'y rattachent. Le tiroir de démarrage, notamment, a fonctionné huit à dix mille fois en moyenne sur chaque machine, sans que sa manœuvre ait jamais donné lieu à la moindre observation.

Une grande part du succès est d'ailleurs due à l'établissement du Creusot pour l'excellente exécution des machines et les soins minutieux apportés à tous les détails de leur construction.

Malgré les bons résultats obtenus du premier coup, M. Mallet a cru devoir, dans des machines actuellement en construction, introduire quelques modifications de détail.

Le réservoir intermédiaire, formé seulement par les tuyaux de commu-

Digitized by Google

nication, ne peut guère avoir qu'une faible capacité; la dépendance des distributions des deux appareils, qui avait été adoptée pour plus de simplicité sur les machines de Biarritz, conduit à une certaine irrégularité de pression dans ce réservoir. De plus, si on réduit notablement l'introduction au petit cylindre, on peut être conduit à comprimer la vapeur dans ce récipient à des pressions exagérées; c'est cette crainte qui avait fait, dans les machines précitées, établir des soupapes de sûreté sur les fonds du petit cylindre, il en résulte quelquefois une perte de vapeur assez notable. Enfin il est à désirer de pouvoir, autant que possible et dans tous les cas, éviter les écarts exagérés d'efforts d'un cylindre à l'autre. Aussi, dans les nouvelles machines, la distribution de chaque côté est-elle distincte, on peut ainsi donner une admission différente à chaque cylindre, mais on peut également, pour le renversement de la marche, manœuvrer ensemble les deux distributions. On est arrivé à ce résultat d'une manière très-simple, mais dont la description sortirait des limites de ce compte rendu.

Un cas qui se présentera fréquemment est celui où on transformera des machines existantes en machines Compound par le simple changement des cylindres.

Il peut alors être désirable de conserver, lors de la marche directe, une sensible égalité d'efforts sur les deux côtés de la machine et surtout de ne pas faire subir aux pièces conservées du mécanisme, d'efforts supérieurs à ceux qu'elles supportent actuellement.

Il en résulte que si on remplace, par exemple, un cylindre de $0^m,42$ de diamètre par un de $0^m,55$, pour que la pression totale reste la même sur chaque piston et chaque mécanisme, il faudra que la pression par unité de surface soit reduite sur le nouveau piston à $p \times \frac{42^2}{55^2} = 0,56\ p$. Pour obtenir ce résultat, quelle que soit la valeur absolue de p, M. Mallet dispose dans de nouvelles machines en construction un détendeur automatique formé d'un piston à deux diamètres commandant un obturateur, qui réduit dans la boîte du tiroir de démarrage la pression de la vapeur à n'être qu'une fraction déterminée d'avance de la pression à la chaudière; les deux pressions étant sensiblement dans le rapport des sections des deux cylindres. Cette disposition a également l'avantage de réduire notablement la pression, sur le tiroir de démarrage, et par suite l'effort à exercer pour le manœuvrer, ce qui n'est pas sans intérêt pour les grosses machines en vue desquelles cette disposition a été surtout étudiée.

En dehors de l'arrangement général décrit dans cette communication, et réalisé déjà sur douze machines tant en service qu'en construction, le système Compound peut être appliqué aux machines locomotives sous diverses formes qui peuvent varier suivant les types de machines et leurs dimensions. M. Mallet n'entrera pas dans l'examen de cette question, son but étant uniquement pour le moment de faire connnaître à la Société les résultats pratiques obtenus d'un système qui lui paraît avoir acquis le droit de

Digitized by Google

réclamer, dès à présent, une place, quelque modeste qu'elle soit, dans l'exploitation des chemins de fer.

Dans quelque temps la question aura fait un nouveau pas, et l'attention de la Société pourra être appelée cette fois sur des applications beaucoup plus importantes du même principe.

M. Desmousseaux de Givré, au sujet du défaut de tirage qu'on reproche, d'ailleurs sans motif, aux machines Compound, fait remarquer que dans ce système, comme dans toutes les locomotives possibles, il serait aisé d'activer considérablement le tirage des cheminées, en utilisant la résistance de l'air; avec une sorte de *manche à vent*, et une chemise concentrique et extérieure à la cheminée, on produirait un courant annulaire ascendant, qui faciliterait la sortie de la fumée et de la vapeur.

M. Quéruel ne pense pas qu'il y ait lieu de se préoccuper de l'insuffisance du tirage dans les machines Compound; il ne faut pas perdre de vue que l'emploi de ce système aura pour effet de réduire notablement la dépense de vapeur; la production de celle-ci pourra donc aussi être réduite sans que l'équilibre soit rompu. C'est ce qui semble résulter des faits relatés par M. Mallet.

M. Mallet confirme l'observation de M. Quéruel; malgré la surface de chauffe réduite des machines de Biarritz, la production de vapeur a toujours été suffisante et même excessive, la dépense diminuant plus rapidement que le tirage; peut-être l'échappement annulaire employé sur ces machines a-t-il eu quelque influence sur le tirage. En tout cas, pour des machines neuves on peut toujours s'arranger pour avoir une grille de grande surface et des tubes relativement courts, de manière à réduire la résistance au passage des gaz, tandis que, pour les machines transformées, on doit admettre que la réduction du tirage sera compensée par la diminution de la dépense due au meilleur emploi de la vapeur, et cela d'autant plus que cette réduction du tirage sera elle-même favorable à la bonne utilisation du combustible.

M. Marcel Déprez fait observer que, dans les machines locomotives, la vitesse de fonctionnement modifie profondément l'échange de chaleur qui a lieu à chaque instant entre la vapeur et les parois du cylindre, et place à cet égard ces machines dans des conditions bien meilleures que les machines à mouvement lent. Si on ajoute à cela que la compression, qui est en général poussée fort loin, réchauffe la portion du cylindre qui va être mise au commencement de la course en contact avec la vapeur venant de la chaudière, on arrive à conclure que les avantages présentés par le système Compound sur les machines ordinaires doivent être singulièrement atténuées quand il s'agit de locomotives.

M. Déprez est convaincu que le système ordinaire peut donner des résultats au moins aussi bons que le système Compound, à la condition d'avoir des cylindres d'un volume suffisant pour produire assez de détente. Il citera comme exemple les nouvelles machines locomotives du chemin de fer de

Digitized by Google

Lyon, qui, lui a-t-on assuré, dépensent moins de 1kg,500 par cheval et par heure, chiffre annoncé par M. Mallet pour les Compound.

Quant aux calculs faits sur la quantité de chaleur échangée entre les parois du cylindre et la vapeur, et sur les condensations ou vaporisations qui en sont la conséquence, M. Déprez les regarde comme absolument illusoires, l'état de la physique et de l'analyse ne permettant nullement d'aborder d'une façon, même grossièrement approximative, des problèmes d'une aussi extrême complication. Il s'en réfère, d'ailleurs, pour ce sujet à l'opinion d'un des hommes les plus profondément versés dans l'étude théorique et expérimentale de la thermodynamique, M. Hirn.

Cet auteur déclare, en effet, dans son bel ouvrage sur cette partie de la science, que les équations de la théorie mécanique de la chaleur ne seront jamais applicables aux calculs pratiques des machines à vapeur, à cause de l'excessive complication des phénomènes produits par les parois du cylindre, complication qui les rend absolument inaccessibles au calcul.

M. Mallet, en présence des idées qui viennent d'être émises par M. Déprez, croit devoir insister sur ce point que, pour économiser la vapeur, il s'agit bien moins de pousser loin les expansions que d'assurer les bonnes conditions dans lesquelles s'effectue la détente. On ne peut plus guère contester actuellement que les condensations intérieures au cylindre augmentent rapidement avec les expansions; quant à l'influence des vitesses de fonctionnement sur ces condensations, elle ne paraît pas ressortir sensiblement des expériences qui ont été faites jusqu'ici sur les machines locomotives, ainsi que M. Mallet l'exposait, dans la séance du 16 février dernier, en réponse à une question de M. J. Morandiere.

Au sujet des nouvelles machines du Chemin de fer de Lyon, citées par M. Déprez, M. Mallet considère l'exagération des dimensions des cylindres comme ne représentant nullement un progrès; car, en laissant de côté pour un instant la question des condensations amenées par des expansions excessives, on est bien obligé de convenir que l'exagération de la détente conduit, au point de vue purement mécanique, à une mauvaise utilisation des organes du mécanisme calculés pour un effort initial hors de proportion avec l'effort moyen. Quand ce ne serait qu'à ce point de vue, la machine Compound a une réelle supériorité.

Il s'est déjà produit des réactions contre l'abus des détentes exagérées, réactions qui ont peut-être conduit à des exagérations en sens inverse. On peut citer le Nord-Est-Suisse, qui emploie des cylindres de petit diamètre à longue course, faibles détentes, et où, en définitive, les consommations proportionnelles ne paraissent pas être bien plus élevées qu'ailleurs.

Quant aux chiffres de consommation de combustible rapportés à l'unité de puissance qu'a cités M. Déprez, M. Mallet ne peut que répéter ce qu'il a dit dans sa communication, c'est que rien n'est plus facile que de donner des chiffres quelconque à cet égard. Ces chiffres sont généralement obtenus au moyen de raisonnements très-élastiques et par une interprétation insuffisante des diagrammes d'indicateur; ce mode d'opérer était déjà employé

Digitized by Google

en Angleterre il y a vingt-cinq ans, et on a fréquemment signalé les résultats absolument erronés auxquels il conduit. Il eût été très-aisé à M. Mallet de suivre ce système et de présenter pour sa machine des chiffres encore plus réduits.

M. MALLET ne relèvera pas les assertions si catégoriques de M. Déprez au sujet des calculs sur l'effet des parois de cylindres que son honorable contradicteur regarde comme *absolument illusoires;* il se bornera à le renvoyer à la lecture du mémoire déjà cité de M. Ledoux, ingénieur des mines, lequel sera mieux à même que personne de défendre au besoin sa méthode attaquée.

M. MALLET croit être d'accord avec M. Déprez sur un point au moins, c'est que le seul moyen d'élucider les questions dans les machines locomotives est de recourir à l'expérience directe, comparative et prolongée. Aussi n'a-t-il cessé de faire depuis longtemps, auprès des grandes Compagnies, des démarches actives pour arriver à des applications qui pussent donner lieu à des comparaisons précises que ne permet pas l'exploitation des petites lignes. Ces démarches ont eu enfin un commencement de succès, et il est probable qu'on pourra bientôt procéder à des essais comparatifs entre des machines de grande puissance et des machines de même type transformées en Compound par la simple modification des cylindres, essais dont la préparation se poursuit simultanément sur une grande ligne française et sur des chemins étrangers.

M. QUÉRUEL a la parole pour sa communication sur l'utilisation de la puissance dynamique des gaz et essais d'application.

M. QUÉRUEL estime qu'à côté des travaux remarquables qui ont été produits dans nos séances sur l'utilisation de la puissance dynamique des gaz, il y a encore place à quelques considérations qu'il croit nouvelles, et sollicite l'indulgence de la Société pour les essais de mise en pratique de la théorie de la détente des gaz, dont il compte entretenir la Société.

Il rappelle les excellents travaux de M. Mallet sur le comport de la vapeur en grande détente dans les cylindres.

En plus de la variation des volumes régie par la loi de la thermo-dynamie, le contact forcé de la vapeur avec les parois des cylindres est un élément de perte considérable, dont on ne saurait trop se préoccuper. La surchauffe de la vapeur serait un excellent palliatif, si cette condition n'engendrait un autre inconvénient, celui de rendre la vapeur oxydante et conséquemment ruineuse pour les organes internes des machines. L'enveloppe de vapeur est encore le meilleur remède contre les condensations et les évaporisations intempestives de la vapeur dans les cylindres. Mais l'enveloppe devenant une difficulté dans les locomotives, M. Mallet conclut en l'adoption du système Compound pour ce genre de machines, afin de détendre plus amplement sans éprouver les inconvénients énoncés.

Ce sont ces principes généraux qui ont conduit M. Quéruel à rechercher les dispositions les plus convenables pour obtenir des gaz comprimés une bonne utilisation.

Digitized by Google

Les récentes applications de l'air comprimé à la propulsion des véhicules faites par M. Ribourt au Saint-Gothard, et par M. Mékarsky aux tramways, ont ramené devant la Société cette question si intéressante de l'utilisation de ce gaz. On se souvient de l'importance qu'attachaient et M. Ribourt et M. Mékarsky à un appareil réducteur de pression, destiné à limiter les efforts sur les organes des machines.

Les partisans du détendeur soutenaient: 1° que, conformément à l'expérience Gay-Lussac, les chutes de pression de l'air comprimé par sortie libre, c'est-à-dire, sans travail effectif, ne donnaient aucune perte de chaleur, et conséquemment, de ce chef, point de diminution de volume; 2° qu'aux abaissements de pressions correspondaient des accroissements des volumes, conformément à la loi de Mariotte, $Pv = pV$ et conséquemment on retrouvait toujours la même puissance à sa disposition.

M. Quéruel ne nie pas le premier point, et il est tout disposé à admettre qu'il n'y a perte de chaleur que lorsque la détente produit un travail conformément à la thermodynamie. Cependant il se demande si dans l'expérience de mise en communication de deux récipients, l'un chargé, l'autre vide, il n'y a pas une récupération partielle de chaleur, due à la compression qui se produit finalement dans le dernier récipient.

Quant au deuxième point il oppose deux arguments : le premier est que le travail dû à la détente est un fait indéniable et qu'on en connaît l'importance en lisant les tables dressées par les physiciens; le second est que la loi de Mariotte est inexacte et que l'on doit à chaque modification de volume la corriger par un coefficient variable K.

$$KPv = pV,$$

appliquant cette formule à $\frac{30^{atm.}}{5} = \frac{V}{v}$ on a $p = \frac{K\,30\,v}{V} = 5^{atm}.26$,

au lieu de 6 atmosphères que donne la loi de Mariotte, soit en perte :

$$\frac{6 - 5{,}26}{5{,}26} = 0{,}14 \text{ pour } 100.$$

La perte due à la détente incomplète peut se calculer ainsi :

Le coût théorique de la compression de un mètre cube d'air à 30 kilogrammes est :

$$1^{m3} \times 30 \times 42\,189^{km} = 1\,265\,770^{km};$$

à la détente de 2 volumes, maximum moyen de la disposition avec détendeur, on a :

$$1^{m3} \times 30 \times 0{,}807 \times 16308 = 419\,063^{km};$$

à la détente de huit volumes, ce qui est possible avec la disposition Compound, on aura :

$$1^{m3} \times 30 \times 0{,}947 \times 24\,054^{km} = 683\,324^{km}.$$

La disposition Compound réaliserait donc un rendement de 1,63 plus grand que celui du détendeur, et donnerait à l'appareil une plus grande

Digitized by Google

ampleur de puissance, en faisant travailler facultativement les deux cylindres à pression initiale.

Si M. Quéruel se trouve en désaccord avec M. Mallet sur l'efficacité du système Compound appliqué aux locomotives à air, il s'estime heureux de s'être rencontré avec lui sur le même terrain d'application de ce système aux locomotives en général. Jusqu'à présent, il ne voit pas de raisons qui infirment l'opinion conforme qu'il a émise lors de la discussion des locomotives à air du Saint-Gothard, il persiste donc dans sa conviction que la disposition Compound, qui n'entraîne aucune complication, n'exige aucun organe supplémentaire, convient parfaitement aux machines à air comprimé.

Abordant le problème de l'utilisation de la vapeur, M. Quéruel se propose, après avoir examiné la question théorique, de faire suivre cet examen de quelques considérations matérielles ou essais d'application.

Quelle est la pression la plus favorable au rendement?

Si l'on prend un kilogramme de vapeur à trois pressions différentes, 1 atm., 6 atm., 12 atmosphères, et que l'on détende ces pressions jusqu'à une pression finale de $0^{atm}.29$, uniforme pour les trois hypothèses, on trouve que la pression de 1 atmosphère sera détendue à 3 volumes, 6 atmosphères, 16 volumes, et 12 atmosphères, 32 volumes; et le travail par calorie sera $55^{km},66$, $97^{km},66$, $112^{km},67$.

$$\begin{array}{ll} \text{Pour 12 atmosphères. .} & \dfrac{112,67}{55,56} = 2,024. \\ \text{Pour 1 atmosphère. . .} & \end{array}$$

Les fortes pressions sont donc celles qui produiront le plus de rendement.

Quant aux chaudières pouvant fonctionner à ces pressions de 10 à 12 kilogrammes, on n'a que l'embarras du choix; et c'est alors, dans ce cas de très-haute pression, qu'apparaissent tous les avantages des chaudières à tubes et à flamme extérieure. Le mètre cube de vapeur de 1 atmosphère se réduisant, sous 12 kil. de pression, à $0^{m},176$; c'est-à-dire à près du dixième de son volume primitif, est moins sujet aux entraînements d'eau; condition très-importante pour le bon fonctionnement de ce genre de chaudières.

La pression étant déterminée, de quelle quantité le piston sera-t-il chargé?

On sait les inconvénients de la surcharge des tiroirs, celle-ci fait absorber beaucoup de force et ruine les parties frottantes. A ce point de vue, et principalement pour éviter les écarts de températures entre la vapeur et les parois des cylindres, il convient de faire travailler la vapeur dans plusieurs cylindres successifs.

Du genre vertical, ou du genre horizontal, lequel convient le mieux?

Le fonctionnement vertical est né le premier. Si le fonctionnement horizontal eût été rationnel, nul doute que l'illustre Watt ne l'eût, sinon pratiqué, au moins essayé; car il présentait l'avantage d'une plus grande simplicité, et celui d'une stabilité plus assurée. Mais aussi le glissement réitéré

Digitized by Google

des organes mobiles devait exposer ceux-ci à l'usé et à la déformation; tandis que si le genre vertical exige de la force pour relever les organes non équilibrés, cette force n'est qu'empruntée, puisque la descente la restitue entièrement, et la gravité ne s'exerçant que dans l'axe du mouvement ne détermine aucune usure déformatrice.

La supériorité de la machine verticale sur la machine horizontale est d'ailleurs établie d'une manière décisive par l'expérience qu'en a faite la ville de Paris dans ses usines hydrauliques. Il ressort des documents du contrôle que pour un même travail, élévations d'eau, des machines d'un même constructeur donnent pour résultats en eau montée par heure et par cheval :

Machine verticale à balancier.	$1^k,42$
Machine horizontale..	$2^k,39$

Soit 40 pour 100 de différence en faveur du système vertical. C'est donc à ce dernier qu'il convient de s'arrêter.

Tout en reconnaissant la supériorité encore manifeste des machines à balancier, M. Quéruel pense que l'on peut trouver d'autres dispositions similaires de fonctionnement à la fois plus simple et plus robustes. Le type dit Pilon lui paraît convenir pour réaliser le *desideratum*. En effet, le fonctionnement est vertical; l'arbre manivelle est sur la plaque de fondation; les paliers normaux; les bâtis tubulaires arc-boutés en triangle reçoivent des cylindres les efforts qu'ils transmettent à la plaque de fondation. Les cylindres boulonnés entre eux donnent à cet ensemble une liaison et une solidarité, qu'aucune machine horizontale ne saurait présenter. Enfin ces machines peuvent fonctionner sans être boulonnés sur leurs fondations, et il y a des exemples.

Le condenseur à surface est un des perfectionnements sur lequel il insiste tout particulièrement, tant au point de vue de la réduction du travail négatif de la pompe à air, qu'à celui de l'alimentation du générateur avec de l'eau distillée, recommandant dans ce cas l'emploi de chaudières mono-métalliques, qui n'éprouvent pas les inconvénients de la corrosion.

Ainsi donc, fortes pressions, détentes successives dans plusieurs cylindres, enveloppes de vapeur complètes, fonctionnement vertical type pilon tubulaire, et condensation par surface; tels sont les points de départ pour la recherche d'une bonne utilisation.

Pour la production de la vapeur, M. Quéruel n'entrera pas dans l'examen d'une question qui nécessiterait de grands développements; il se bornera à citer les avantages qui résultent de l'agrandissement de la chambre de combustion.

La théorie de la transmission de la chaleur indique que le foyer, source de chaleur, doit être aussi près que possible des parties à chauffer. Mais la loi de la combustion exige que cette fonction chimique ait lieu à haute température; c'est-à-dire à l'abri de refroidissements qui seraient nuisibles à

Digitized by Google

la parfaite comburation des gaz oxygénables. D'où il résulte que la combustion doit s'effectuer dans un espace suffisant, en présence et à distance des surfaces à chauffer. L'expérience l'a donc conduit à distancer les grilles des bouilleurs, et les résultats de vaporisation ont été augmentés. La supériorité des chaudières de locomotives est en grande partie due aux vastes proportions de la chambre de combustion.

On sait expérimentalement que le maximum de l'effet utile de la détente est 9 volumes; lorsque cette dernière se produit dans un seul cylindre : c'est une limite qu'il ne convient même pas d'atteindre.

On peut considérer deux systèmes de détente : la détente simple et la détente composée.

La détente simple est celle qui s'effectue dans un seul cylindre, ou dans les Woolf à pleine admission.

La détente composée se produit dans deux cylindres et présente deux cas. Le premier est la Woolf à introduction partielle dans le petit cylindre. Le deuxième est à périodes discordantes entre les pistons ayant les manivelles comprises entre 0 et 180°; c'est la machine dite Compound.

Pour faciliter les calculs de rendements de chaque mode de détente, M. Quéruel a dû établir les deux tableaux qui suivent les tables de Regnault :

TABLES d'après Regnault.

PRESSIONS en atmosphères.	Température.	AIR.		VAPEUR.	
		POIDS du mètre cube.	VOLUMES du kilogramme.	POIDS du mètre cube.	VOLUMES du kilogramme.
	o	k	m3	k	m3
1	100.00	0.9459	1.0570	0.5884	1.6995
2	120.60	1.7928	0.5577	1.1151	0.8966
3	133.91	2.6012	0.3844	1.6170	0.6180
4	144.00	3.3842	0.2954	2.1050	0.4749
5	152.22	4.1840	0.2410	2.5803	0.3874
6	159.22	4.8973	0.2041	3.0461	0.3281
7	165.31	5.6341	0.1774	3.5044	0.2852
8	170.81	6.3591	0.1572	3.9554	0.2527
9	175.77	7.0748	0.1413	4.4005	0.2272
10	180.31	7.7820	0.1287	4.8404	0.2069
12	190.00			5.6820	0.1766
16	203.00			7.3700	0.1358
20	214.70			9.0000	0.1122
24	224.00			10.6200	0.0950
30	236.00			12.9400	0.0774

Digitized by Google

TABLES de variation de volumes

SOUS DES PRESSIONS VARIABLES.

NOMBRE de VOLUMES après détente.	VOLUME de 1 mètre cube comprimé en mètres cubes.	NOMBRE de mètres cubes à 100° contenus dans 1^{ms}, à différentes pressions.	PROPORTIONS DE RÉDUCTIONS.		
			COEFFICIENTS de réduction de volume $\frac{R}{N} = K.$		COEFFICIENTS de réductions de volumes du simple au double.
N	V	R	K	Différence par atmos.	K'
1	1.0000	1.000	1.000		$\frac{2}{1}$ 0.947
				53	
2	0.5275	1.895	0.947		$\frac{4}{2}$ 0.944
				30	
3	0.3636	2.752	0.917		$\frac{6}{3}$ 0.941
3,5	.....	.....	0.905	22	$\frac{8}{4}$ 0.939
4	0.2795	3.578	0.895		$\frac{10}{5}$ 0.936
				18	
4,5	.....	.....	0.885		$\frac{12}{6}$ 0.930
5	0.2280	4.387	0.877		$\frac{16}{8}$ 0.930
5,5	.....	.....	0.869	14	$\frac{20}{10}$ 0.929
6	0.1931	5.179	0.863		$\frac{24}{12}$ 0.929
6,5	.....	.....	0.857	12	
7	0.1618	5.959	0.851		
7,5	.....	.....	0.846	10	
8	0.1487	6.725	0.841		
8,5	.....	.....	0.836	10	
9	0.1337	7.480	0.831		
9,5	.....	.....	0.826	10	
10	0.1216	8.214	0.821		
12	0.1039	9.623	0.802		
16	0.0843	12.515	0.782		
20	0.0655	15.261	0.763		
24	0.0559	17.888	0.745		
30	0.0455	21.900	0.731		

Digitized by Google

TABLEAU

de rendement en kilogrammètres du mètre cube de vapeur résultant de différents systèmes.

MACHINES COMPOUND.					MACHINES WOOLF ET MACHINES A UN CYLINDRE.					
	Admissions à pleins cylindres.		Admissions partielles.			Machines à 1 cylindre.		2 cylindres Woolf, type Pilon à 180° essai proposé espaces nuisibles déduits	3 cylindres Woolf et Compound, 180° et 90° essai proposé espaces nuisibles déduits.	
RAPPORTS entre les cylindres.	Manivelles à angle indifférent espace infini.	Manivelles à 90° sans espace intermédiaire.	VOLUME après détente.	Rapport fixe $\frac{1}{4}$ petit cylindre variable grand cylindre $\frac{8}{10}$	Travail théorique de la détente, ce travail sans détente étant 10.000km.	Type FARCOT Espaces nuisibles déduits $\frac{1}{32}$ ou 0,0312.	Type CORLISS Espaces nuisibles déduits $\frac{1}{64}$ ou 0,0156.	$\frac{1}{64}$ ou 0,0156.	K.9 + 7400	
1	K.2	K.3	4	K.5	K.6	K.7	K.8	K.9	K.10	
1	10.000	10.000	1	10.000	10.000	9.683	9.844			
2	14.735	13.550	2		16.932	16.308	16.620			
3	16.113	15.200	3		20.987	20.051	20.519			
4	16.712	15.615	4		23.863	22.615	23.239	23.239		
5	17.016	15.848	5	19.602	26.094	24.534	25.314	25.450		
6	17.191	16.091	6		27.920	26.048	26.984	27.275		
7	17.294	16.291	7		29.440	27.256	28.348	28.855		
8	17.359	16.344	8	24.054	30.800	28.304	29.552	30.171	Volumes.	
9	17.386	16.347	9		32.000	29.192	30.596	31.385		
10	17.389	16.300	10	26.140	33.026	29.906	31.466	32.386	20	39.786
12	17.351	16.294	12		34.670	30.926	32.798	33.994	24	41.394
16	17.331	16.292	16	30.433	37.770	32.778	35.230	36.746	32	44.146
20	17.248	16.290	20	32.395	39.958	33.718	36.857	39.052	40	46.452
24	17.139	16.290	24		41.788	34.300	38 044	40.748	42	48.148
30	17.050	16.290	30		43.800	34.440	39.183	42.610	60	50.010
			32		44.666	34.666	39.671	43.337	64	50.737

Digitized by Google

M. Quéruel insiste sur la correction de la loi de Mariotte et y consacre cinq colonnes : N, V, R, K, K' du premier tableau; K étant le coefficient correspondant au nombre de volumes détendus variant suivant ce nombre.

La détente composée de la machine Compound étant celle qui présente le plus de variations hypothétiques, trois colonnes, dont deux extrêmes, et la troisième moyenne pratique, ont été consacrées à ce système (Voir le tableau ci-contre).

La conjonction avec espace intermédiaire infini et angle indifférent entre les manivelles, donne théoriquement pour le maximum 10 volumes d'expansion, colonne n° 2.

La conjonction sans espace intermédiaire et angle à 90°, donne théoriquement pour le maximum 9 volumes, colonne n° 3.

Pour racheter les pertes dues à ce genre de disposition, on détend généralement trois fois successives, et la colonne 4 donne cinq cas de cette condition; ce qui élève considérablement le rendement. On doit aussi mettre à l'actif de ce système les réductions de pressions et de températures qui sont très-favorables au bon fonctionnement et lui donnent de la rondeur.

On a construit en Angleterre une variété de Compound, qui, tout en conservant l'angle des manivelles à 90°, détend successivement dans les deux cylindres par voie de transvasement dans les mêmes conditions de détente que dans une machine Woolf à pistons parallèles.

La septième colonne K_7 établit les rendements d'une machine détendant dans un seul cylindre résultant de l'expression :

$$K_7 = P K_6 - \frac{nP}{32}.$$

K_7, est le rendement; P, la pression; K_6, le coefficient de détente; n, le nombre de volumes après la détente, et $\frac{1}{32}$ la fraction exprimant les espaces neutres.

Le travail de $\frac{P}{32}$ est nul; il n'y a que celui qui résulte de son expansion qui doit être compté.

D'accord avec M. Mallet, M. Quéruel trouve par le calcul que, en raison de ces espaces neutres, 32 volumes d'expansion (34 670^{km}) se réduisent à 12 volumes (34 666^{km}); 20 volumes, à 10,5; 13 volumes, à 8; 10 volumes, à 7; 8 volumes, à 6.

La direction des Eaux de la ville de Paris a interrogé l'expérience sur cette donnée. Quel est le régime qui donnera le meilleur rendement d'un kilogramme de charbon?

Digitized by Google

Voici le résultat de trois expériences :

Nos	PRESSION.	VOLUME après détente.	TRAVAIL en chevaux.	CHARBON par heure et par cheval.
1	1,68	1,0	43,18	3k,087
2	3,75	8,0	61,63	1 ,662
3	4,76	13,33	60,00	1 ,666

Ces expériences démontrent que le maximum d'effet utile de la détente est de huit volumes, et qu'au delà il y a décroissance dans le rendement.

La colonne suivante K_8 donne les rendements du nouveau type de machines mono-cylindre, édité sous les noms de Corliss, Ingliss, Bède et Farcot. Les distributions rationnelles de ce genre réduisent les espaces neutres à $\frac{1}{64}$ environ.

La formule devient donc :

$$K_8 = PK - \frac{nP}{64}.$$

Il y a lieu de supposer que le rendement maximum peut s'élever jusqu'à 12 ou 13 volumes d'expansion.

Tout en reconnaissant les avantages du nouveau genre de distribution sur l'ancien, M. Quéruel ne s'explique pas les différences considérables de consommation en faveur de ces machines. C'est toujours la machine mono-cylindre horizontale; il n'y a de différence que dans la section des lumières et la réduction des espaces neutres au demi. La rapidité du mouvement des valves est bien un appoint; mais cet ensemble ne saurait constituer des économies de un au demi, ainsi que cela a été annoncé.

Il y avait sans doute des conditions différentes d'état des machines, telles que du neuf comparé à de l'usé. — M. Quéruel fait remarquer que les épreuves faites par la ville de Paris, sur des machines du service des eaux, construites toutes deux par M. Farcot, ont donné par cheval et en eau montée.

Machine Woolf à balancier.	0,950
Machine Bède et Farcot.	0,970

C'est donc encore la machine verticale à deux cylindres qui tient le premier rang.

La grande détente dans un seul cylindre a été une des raisons d'être de la machine horizontale, dont la simplicité des relations entre des efforts et des résistances se rencontraient dans des conditions plus favorables que celles des machines verticales.

Mais l'histoire de sa création est encore trop près de nous pour qu'on ait oublié les difficultés qu'ont eu à surmonter nos premiers constructeurs, ils avaient alors à conjurer les chocs et les échauffements dus à l'action ini-

Digitized by Google

tiale de la vapeur. Cette condition fatale, inhérente au mono-cylindre, affecte nécessairement le rendement en raison de l'expansion.

Sans expansion la perte due aux frottements est. .	0,037
Expansion de 16 volumes dans un seul cylindre. . .	0,087
Expansion de 16 volumes dans le système Woolf. .	0,048

La détente dans un seul cylindre, donnant des pressions actives et réactives sur les tourillons dans le moment où la position de la manivelle est le moins favorable à la transmission, est donc moins avantageuse que la détente dans deux cylindres successifs.

Arrivant au genre Woolf, M. Quéruel pense que c'est encore ce système qui, dans l'état actuel de la science mécanique, réalisera les meilleurs rendements, à la condition que le fonctionnement sera vertical, la transmission du mouvement du piston à la manivelle, faite directement par la bielle, et que l'arbre sera dans une position inébranlable, telle que sur le sol. En d'autres termes, machine Woolf type Pilon.

Une plaque tubulaire, des bâtis également tubulaires, deux cylindres dont le rapport serait $\frac{1}{4}$, boulonnés solidairement sur les bâtis, condenseur hors du sol, enveloppe de vapeur, arbre coudé à deux manivelles opposées (180°) sur paliers solidaires à la plaque de fondation; telle serait la disposition générale de l'appareil présenté à l'état d'essai.

Dans ce système, les orifices des cylindres débouchent des extrémités de ces derniers, en ligne droite dans les espaces des tiroirs.

Entre les deux cylindres, est une capacité close, dans laquelle se meut un tiroir en deux parties, dont les faces opposées glissent sur les glaces à orifices. Ces tiroirs sont simplement réunis par une membrane métallique flexible, dont la disposition est telle que la pression interne en écarte les bords et assure d'une manière élastique son contact et celui des tiroirs. Cette capacité intermédiaire est l'issue au condenseur.

L'admission au petit cylindre a lieu par les extrémités au moyen d'un tiroir en deux parties; l'éduction se faisant par les orifices opposés, ces tiroirs sont de simples capacités, recouvertes par des tuiles à deux orifices, analogues aux tiroirs Farcot, la régularisation de la vapeur se faisant par le modérateur.

Le transvasement de la vapeur du petit cylindre au grand, a lieu en ligne droite, à travers le tiroir flexible et équilibré qui a été décrit, les pistons marchant en sens inverse.

L'éduction du grand cylindre se produit par l'unique orifice dans la capacité intermédiaire, voie du condenseur.

Il y a lieu de remarquer: 1° que les espaces neutres sont réduits à $\frac{1}{64}$ du volume des cylindres; 2° que les écoulements de vapeurs ont lieu sans chicane en ligne droite; 3° que l'écoulement au condenseur est à large section; 4° que le tiroir le plus important est équilibré; 5° que les frottements dus

Digitized by Google

à la transmission des efforts des pistons, réduits par le mode (2 cylindres), sont encore diminués d'un quart par la compensation partielle, réalisée par l'opposition des manivelles; 6° qu'enfin, la disposition générale de l'appareil présente une solidarité telle, qu'on peut considérer ce dernier comme un bloc travaillant sur lui-même, et n'exigeant aucune attache au sol, aucun boulon de fondation.

En consultant le tableau de rendement colonne K_9 on voit qu'au début de la détente à 4 volumes, l'influence des espaces neutres est exactement égal au type Corlisse, 23,239 km. Un avantage de 136 km. se manifeste à 5 volumes, pour croître successivement avec la détente. A 10 volumes, il devient 920 km.; à 20 volumes 2,195 km.; à 32 volumes 3,666 km. Soit :

$$\frac{3,666}{3,9671} = 0,092 \text{ de rendement}$$

supérieur au genre Corliss, Ingliss, etc.

Si la disposition ci-dessus décrite est complétée par l'adjonction d'un troisième cylindre de moindre volume, dont la relation serait $1 \times 4 \times 4 = 16$; on pourrait alors faire usage de pressions de 12 à 15 kil. En conjuguant ce piston initial à 90° des deux autres, qui entre eux sont à 180°, on aurait une machine Woolf Compound, qui réaliserait encore un meilleur emploi de la vapeur, et conviendrait à la fois à la marine et aux filatures où la rondeur du mouvement est très-recherchée.

La colonne K_{10} donne par l'addition d'un nombre sensiblement constant 7,405 km. au nombre correspondant à la détente, qui s'effectuera dans les deux cylindres suivants; soit pour 16 volumes de la colonne K_9 :

$$36,746 + 7,405 = 44,151 \text{ km.}$$

En résumant l'état comparatif des divers systèmes examinés, on reconnaît que l'infériorité théorique apparente du système Compound reprend bonne position, lorsqu'on détend partiellement dans chacun des cylindres, et gagne un appoint important par l'étagement des pressions et des températures. Les efforts tangentiels sur les manivelles sont conséquemment plus uniformes et donnent en définitif un très-bon rendement.

La machine mono-cylindre donne théoriquement 10 p. 100 plus de rendement que la Compound, mais la détente exagérée dans ce genre de machines, loin de suivre la progression théorique, fixe à 9 volumes le maximum de rendement.

Le type Corliss, dont la caractéristique est le mono-cylindre, ne peut échapper à la condition fatale de cette carastéristique, qui est un très-grand écart de température entre la vapeur en fonction et les parois des cylindres, et aux variations excessives des efforts sur les tourillons. Les épreuves comparatives du travail des machines élévatoires de la ville de Paris donnent une conclusion bien nette en faveur des machines verticales à deux cylindres.

La pluralité des cylindres est donc indiquée par la théorie et pleine-

Digitized by Google

ment justifiée par la pratique. Le type qui réalisera la distribution sans chicane, directe, sans espaces nuisibles plus considérables que les Corliss, Bède et Farcot, etc. aura sur ces systèmes les avantages d'un fonctionnement plus normal, plus doux, plus lubrifié et moins exposé à l'usé. La répartition des efforts et leur juste équilibre assurera un fonctionnement plus économique et plus durable, et il y a lieu de penser que ces qualités se rencontreront dans le type Woolf à 180° qui vient d'être décrit.

On n'aperçoit aucune raison pour que la continuité de ces bons effets ne soit assurée, en présence de la verticalité du fonctionnement et de la proximité à la main et à la vue de tous les organes de la machine.

Ce sont ces raisons qui ont porté M. Quéruel à donner la préférence au type Woolf à Pilon avec condenseur hors du sol. L'adjonction du troisième cylindre, dit initial à fonctionnement Compound, compléterait cet appareil; tant au point de vue de l'emploi des hautes pressions et des économies qui en résulteraient, qu'à celui de l'affranchissement des points morts et de la rondeur du mouvement.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Quéruel s'il a fait construire la machine dont il vient de donner la description.

M. QUÉRUEL répond qu'il ne l'a pas encore fait construire.

MM. Bell, Forcher, Girard, Knight et Lanier ont été reçus membres sociétaires et M. Courant, membre associé.

Séance du 19 Octobre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 octobre est adopté.

M. PÉRISSÉ donne communication de sa note sur une formule approchée, mais très-simple, pour le calcul des poutres métalliques en forme I, soumises à la flexion.

Après avoir rappelé les formules ordinaires de la résistance des matériaux dont l'application conduit à des calculs longs et laborieux, M. Périssé indique la formule dont il propose l'emploi et il en apprécie le degré d'exactitude par des considérations théoriques.

Cette formule approchée qu'il a mis en usage depuis plus de quinze ans, est la suivante :

$$S = K\frac{\mu}{h};$$

Digitized by Google

S étant la section de la table de la poutre, d'un seul côté de l'axe neutre;
K Coefficient numérique;
μ Moment fléchissant des forces extérieures;
h Hauteur de la poutre.

La valeur du coefficient K dépend non-seulement du chiffre auquel on veut faire travailler le métal par unité de section, mais aussi de la nature et de la composition de la poutre; ainsi, par exemple, elle diffère sensiblement suivant que la pièce est à treillis ou à âme pleine.

Un très-grand nombre de poutres en fer construites ont été soumises à un double calcul, par l'application des formules exactes d'une part, et de la formule approchée d'autre part. Les différences qui ont été trouvées ont permis de tirer la valeur du coefficient dans les principaux cas de la pratique. Le calcul d'une poutre I par la formule proposée se fait ainsi sans tâtonnements, par quelques opérations fort simples, et avec une approximation, le plus souvent bien suffisante. (Voir la note, page 764.)

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Périssé de sa communication.

M. GAUTHIER a la parole pour donner communication du Mémoire de M. Léger sur la constitution des corps trempés.

Longtemps on n'a recherché dans la trempe de l'acier, par exemple, que des qualité de dureté et d'élasticité plus grandes que dans le métal non trempé : mais, plus récemment, on a généralisé cette pratique, quand on a remarqué que par la trempe l'acier perdait sa structure cristalline pour prendre une structure confuse et amorphe, structure à laquelle correspond toujours la plus grande résistance. Les corps à structure cristalline, au contraire, présentant à la rupture, suivant les clivages de leurs éléments, des plans ou des chemins tout préparés, sont fragiles et cassants, comme on le voit pour le bismuth, l'antimoine, le zinc en lingots, les conglomérats de sels cristallisés, auxquels nous pouvons ajouter l'acier, la fonte, le verre, le soufre; la trempe, en enchevêtrant et solidarisant les molécules amorphes, donne aux corps une ténacité beaucoup plus grande.

M. le colonel Caron a proposé d'assimiler l'action de la trempe, d'un cylindre, par exemple, à celle d'un martelage ou d'un frettage à chaud opéré sur le noyau central par la contraction de la couche extérieure vivement refroidie. La compression énergique ainsi brusquement exercée par l'enveloppe et le refroidissement qui se propage assez rapidement dans la masse, surprennent les molécules dans leur état amorphe, empêchent leur arrangement cristallin et les obligent à se déposer en quelque sorte dans la position même qu'elles occupent, en les laissant enchevêtrées dans des conditions de solidarité bien différentes de celles qu'engendrent les clivages de grosses facettes observées dans les lingots lentement refroidis. C'est ce dont on se rend assez bien compte en assimilant l'acier à une dissolution excessivement concentrée d'un sel facilement cristallisable, comme l'alun, par exemple, qui se prend en une masse de gros cristaux, si l'on n'agite pas la dissolution sans relâche, formation qu'on éviterait proba-

Digitized by Google

blement encore en comprimant énergiquement la dissolution, pour rompre les agglomérations en voie de constitution.

Pour affirmer l'analogie entre la trempe et le martelage, on peut citer ce que fait le martelage à une température élevée, qui, continué assez longtemps, réussit à enlever à l'acier le grain cristallin à grosses facettes, pour lui laisser le même grain fin qu'il doit à la trempe. Le refroidissement sous pression pendant le laminage exerce une action de même nature.

Pour obtenir cet excédant de résistance et réaliser une action d'étampage final que les marteaux les plus puissants de nos forges sont souvent incapables de produire, la pratique de la trempe tend à se généraliser de plus en plus; il nous a paru fort intéressant de rechercher quel rôle joue la forme extérieure dans cette action de frettage, quelle peut être la constitution moléculaire nouvelle provoquée par la trempe en fonction des diverses formes ou sections géométriques en usage, et par suite de découvrir si certaines de ces formes sont favorables ou non au plein effet de la trempe.

Les métaux se laissent difficilement pénétrer par des investigations de cette nature, et leurs sections transversales sont polies ou brouillées par l'action des outils. Nous avons dû chercher des enseignements auprès d'un corps voisin, plus pénétrable et le plus sensible de tous à l'action de la trempe : le verre, dont, en même temps que l'élasticité et la sonorité, la ténacité est élevée par la trempe jusqu'à cinq fois sa valeur primitive, tandis que dans les mêmes circonstances celle de l'acier n'augmente que de 50 à 100 pour 100. Les remarques suggérées par l'observation de l'un pourront conduire aux conclusions les plus utiles à l'autre.

Dans le verre, tout état de contraction ou de dilatation des molécules est clairement révélé par la *lumière polarisée :* en interposant le verre à étudier entre un analyseur et un polariseur, comme un prisme de Nicol, les parties en équilibre ou *neutres* conservent l'apparence ordinaire, tandis que les parties en tension sont marquées par des irisations, des traînées de lumière blanche ou laiteuse et des obscurités qui sont le signe sensible d'un état intérieur, d'un équilibre moléculaire tout nouveau. Une plaque trempée se présente dans l'ensemble comme ridée par des ondulations offrant des ventres et des nœuds, comme on en rencontre dans d'autres phénomènes de vibrations. Nous verrons que l'on peut provoquer les mêmes figures ou ondes irisées que dans une plaque ou un prisme trempé, en comprimant de certaine façon un prisme de verre ordinaire de même forme : ce qui vérifiera plus complétement que toute autre expérience l'assimilation que l'on a proposée, de la trempe à un frettage.

Ce n'est pas là le seul phénomène qui se produise sous l'influence de la trempe : sous l'action combinée de cette compression due à la couche extérieure et du refroidissement qui se propage de proche en proche dans la masse, les couches de molécules qui se refroidissent au même moment, et que nous pouvons appeler *couches isothermes*, sont comme agglutinées en gaînes concentriques ou parallèles, comme se développent les couches fibreuses sous l'influence du laminage.

Digitized by Google

Sous cette double influence de la compression de l'enveloppe et du refroidissement, il se développe encore une autre orientation, une autre constitution moléculaire, *conique*, dont nous essaierons de rendre compte; ces deux orientations sont nettement accusées par deux systèmes de cassures typiques, deux sortes de clivage des corps trempés.

De la connaissance de cette constitution moléculaire complexe, engendrée par la trempe, il sera facile de conclure les meilleures formes de résistance à donner aux corps à tremper et les dispositions vicieuses à éviter.

I. — Étude des ondulations intérieures au moyen de la lumière polarisée.

Nous examinerons successivement, à l'aide de la lumière polarisée, les ondulations ou spectres caractéristiques des diverses formes géométriques données dans la pratique aux corps trempés :

Cercle, — carré, — trapèze, — rectangle, — triangle, — hexagone, etc.

1° *Cercle.* La lumière polarisée traversant parallèlement à l'axe un cylindre à base circulaire (pl. 106, fig. 1 et 2) trempé, plein ou annulaire, ou une plaque circulaire, fait apparaître une série de cercles concentriques irisés, recroisés par les branches d'une croix blanche ou noire, suivant que le plan diamétral du polariseur fait un angle de 180° ou de 90° avec le plan de l'analyseur; en inclinant à droite ou à gauche le plan du polariseur, on voit cette croix se transformer en deux branches d'hyperbole, dont la croix primitive forme les asymptotes.

On produit le même spectre en comprimant un cercle non trempé, soit par une frette, soit par des vis de pression agissant d'une façon bien égale et bien continue. Des actions de même nature bien égales et bien réparties ne modifient pas l'image polarisée d'un cercle trempé; mais si un point de la circonférence est plus comprimé, les cercles irisés s'ovalisent pour se rapprocher de ce point.

On obtient les mêmes apparences en renversant l'expérience : en chauffant et dilatant le noyau central non trempé pour distendre le cercle-enveloppe resté froid, ou bien, en chauffant tout l'ensemble, l'enveloppe se dilatant plus rapidement que le centre, et les dilatations donnant les mêmes images que les compressions. Toutes ces observations vérifient pleinement la théorie des actions et réactions mutuelles entre le centre et la périphérie; seulement, après ou par la trempe, la compression reste permanente.

Dans le cercle trempé, la compression est bien évidemment produite par la couche enveloppe (fig. 3 et 4), car si on enlève à la meule des segments latéraux, de façon à transformer le cylindre circulaire de prisme triangulaire, carré, hexagonal, etc., les cercles concentriques irisés se transforment en

Digitized by Google

étoiles concentriques, dont les branches saillantes sont dirigées vers le milieu des faces nouvelles, les angles rentrants correspondant aux sommets, aux parties où la couche primitive conservée semble avoir maintenu la compression originelle; les saillants de l'étoile ont surgi par une sorte de détente en regard des points où l'enveloppe a été le plus fortement entamée.

Bien que cette observation ne rentre pas immédiatement dans notre sujet, nous ne résistons pas au désir de signaler à ce propos certains faits intéressants, touchant le mode, peu connu, de transmission des pressions à l'intérieur des corps solides, faits rendus sensibles dans le verre par la lumière polarisée.

Si l'on comprime un cercle ou un cylindre de verre suivant un diamètre, il se forme une double série d'ellipses irisées symétriques, toutes tangentes à chacun des points d'application de la pression, et marchant les unes vers les autres; le système, surmonté d'une croix de Malte obscure, est englobé dans une ellipse laiteuse ayant pour grand axe le diamètre touché, et pour petit axe environ la moitié de ce diamètre; au delà se trouve la lumière neutre. Cette grande ellipse circonscrit tous les points intéressés à la pression transmise, les plus grandes pressions se trouvant indiquées par les ondes elliptiques fortement irisées; et, en effet, en augmentant la pression jusqu'à la rupture, le verre commence par s'écailler plus ou moins suivant ces contours elliptiques tangents aux points d'appui (pl. 106, fig. 6).

En comprimant le même cercle suivant deux diamètres rectangulaires, on a deux systèmes semblables à angle droit se fondant vers le centre, traversés par une croix noire étoilée reliant les quatre points de contact, et la lumière laiteuse occupe quatre segments limités par des branches d'hyperbole (fig. 7).

Dans toutes les expériences de polarisation, l'angle du polariseur variant de 90°, les irisations apparaissent avec les couleurs complémentaires.

2° *Carré.* — 3° *Trapèze.* — Sur une plaque carrée ou un prisme à base carrée trempé, on aperçoit :

Aux quatre angles, des œils de queue de paon fortement irisés (fig. 8) se propageant plus ou moins loin selon la trempe, suivant les diagonales;

D'un angle à l'autre, sur les côtés, des arcs ou festons irisés, s'appuyant sur les angles et tournant leur convexité vers le centre;

Suivant les deux diamètres normaux aux côtés, une croix obscure ou blanche, suivant les directions relatives des plans de polarisation : cette croix représente encore les asymptotes de branches hyperboliques obscures ou blanches accusées par la déviation à droite ou à gauche du même plan de polarisation.

Les carreaux compris entre ces œils-de-paon, les arcs des côtés et la croix sont occupés par de la lumière laiteuse.

Ces apparences polarisées sont encore manifestement dues aux actions et réactions réciproques de l'enveloppe et du noyau central; car, à mesure qu'on chauffe le centre d'une plaque non trempée, on voit la croix sombre

Digitized by Google

et les carreaux laiteux des angles se développer graduellement sous l'action de la chaleur qui dilate le noyau central.

Pour retrouver, par compression artificielle, ces mêmes effets polarisés sur une plaque semblable de verre ordinaire, nous avons dû essayer un grand nombre de systèmes d'actions extérieures; nous reproduisons ici les résultats donnés par quelques-uns de ces tâtonnements, parce que, chemin faisant, ils fournissent des enseignements utiles sur le mode de propagation des pressions dans les corps solides, mode de propagation sur lequel jusqu'ici on est réduit à de simples hypothèses.

En pressant le carré suivant un diamètre (fig. 10), on obtient, aux deux points d'application, des ondes elliptiques irisées en œils-de-paon, tangentes aux points de contact, marchant les unes vers les autres pour se fondre au centre; ces ondes sont les lieux de plus grande compression, car c'est suivant leur contour que les écailles de verre se détachent, quand la compression devient trop forte. Ces deux systèmes d'ondes symétriques sont englobés dans une ellipse générale ayant pour axe la ligne des points de contact, remplie de lumière laiteuse, recroisée par une croix de Malte; au delà, une zone neutre à la lumière et à la pression. L'ellipse générale est le lieu des points intéressés par la transmission des forces extérieures et leur opposant des réactions sensibles.

La compression suivant une diagonale donne la même apparence (fig. 11) avec deux triangles neutres indifférents aux pressions exercées.

Dans ces expériences, le petit axe de l'ellipse générale grandit en même temps que la pression exercée suivant le grand axe, mais nous avons toujours eu rupture suivant le grand axe, avant que la figure ne se rapprochât sensiblement du cercle.

En comprimant le carré suivant deux diamètres ou deux diagonales (fig. 12), nous obtenons à peu près le même spectre qu'avec le cercle comprimé dans les mêmes conditions.

En général, pour interpréter ces images révélatrices des actions intérieures, on peut dire que deux forces égales et de sens contraire transmettent leur action de l'une à l'autre au travers d'un corps plus ou moins élastique, en intéressant non pas un losange ou un quadrilatère, mais une zone elliptique ayant pour grand axe la direction commune aux deux forces. Cette zone elliptique est comme applatie suivant l'axe pressé; l'axe transversal est comme dilaté, ainsi que le ferait le simple contour élastique de l'ellipse, et la rupture se produit, suivant la ligne qui joint les deux forces, par la distension qui se développe transversalement entre les deux moitiés longitudinales de la figure.

Nous avons encore examiné le cas d'un carré pressé sur un point d'un côté et sur toute la longueur du côté opposé, comme, dans la pratique, un socle reposant sur sa base supporte l'appui d'une colonne ou d'un poteau : on aperçoit alors un œil-de-paon au point pressé, deux autres plus petits aux extrémités de l'arête comprimée (fig. 14); sur le milieu de cette arête s'élève une pointe obscure qui dérive à droite et à gauche toutes les courbes

Digitized by Google

irisées et laiteuses en double queue-de-triton. Si nous essayons d'interpréter cette image, nous dirons que la pression maxima ne se transmet pas du point d'application de la force vers la base suivant la direction de la force, non plus suivant un triangle reliant le point d'appui aux extrémités de la base. Mais, à droite et à gauche du point d'application, les pressions se transmettent comme par deux courants curvilignes jusqu'à la base, qui est comme fléchie en allant du milieu vers les deux angles les moins soutenus du système, et ces derniers éprouvent une compression considérable révélée par les œils-de-paon; le corps tend donc à s'aplatir en se gonflant transversalement comme le ferait un demi-cercle élastique pressé au sommet, et tend à se fissurer par traction transversale suivant la direction de la pression isolée.

Dans toutes les images polarisées, les parties irisées ou laiteuses paraissent accuser les molécules comprimées ou dilatées dans tous les sens, vivement pour les parties irisées, d'une façon plus diffuse dans les parties laiteuses; les traces obscures ou noires fixes semblent caractériser l'état particulier de molécules comprimées dans un sens et dilatées dans l'autre[1]; ce qui le démontre, c'est que les fissures ou félures suivent généralement ces traces obscures, comme les écailles se détachent suivant les contours des irisations les plus vives.

Pour obtenir par la compression d'un carré de verre ordinaire le même spectre polarisé que par la trempe, il faut presser les côtés uniformément sur toute leur longueur, et, par surcroît, les angles suivant les diagonales; cela dénote que la trempe agit comme un frettage complet[2], pressant normalement sur tous les points par l'action des arcs bombés qui vont d'un angle à l'autre, et qui par leur rétraction entraînent et compriment l'angle suivant la diagonale (pl. 106, fig. 15).

4° *Rectangle.* — Les plaques ou prismes rectangulaires donnent des images un peu plus compliquées que le carré.

On voit : les arcs bombés convexes aller d'un angle à l'autre, frangés d'irisation; les angles présenter des œils-de-paon avec une frange laiteuse qui termine l'onglet. Le noyau central est occupé par une ellipse allongée teintée de la série des bleus (fig. 16), et séparée des grands côtés par deux barres parallèles obscures, qui se réunissent vers les petits côtés en une seule branche séparant les onglets irisés des angles.

Les dilatations par chauffage donnent les figures polarisées de la trempe sur le verre ordinaire, et l'on peut les reproduire également par des compressions extérieures convenablement dirigées.

1. Dans une lame de verre figurant une poutre droite posée sur deux appuis et uniformément chargée on observe encore, vers les semelles, les bandes irisées séparées vers la fibre neutre par une bande obscure marquant la zone soumise au *glissement longitudinal*, plus ou moins parallèlement aux bords de la poutre.

2. Pour obtenir des irisations aussi vives que dans certaines pièces trempées, il faut parfois comprimer le verre ordinaire presque à la limite de rupture : ce qui montre le danger de certaines trempes trop dures.

Digitized by Google

5° *Triangle.* — 6° *Hexagone.* — Les figures géométriques, comme le triangle, le pentagone, l'hexagone, etc., qui ne disposent pas de deux axes de symétrie rectangulaires, donnent au prisme de Nicol des spectres irréguliers par les parties éteintes.

En général, on trouve toujours aux sommets, aux points de plus grande tension, des queues-de-paon irisées très-vives, avec des sertissures de lumière laiteuse; d'un sommet à l'autre, comme arcs des côtés, des festons plus ou moins bombés irisés (fig. 17), des branches obscures, toujours dérivées de l'hyperbole, partant du noyau central, séparant les franges laiteuses et allant recouper les côtés.

Dans l'hexagone, par exemple, les branches d'hyperbole s'orientent toujours pour séparer les irisations suivant les parties symétriques de la figure 18.

Toutes ces apparences polarisées ne sont pas propres à la seule forme primitive sous laquelle le corps a été trempé : si l'on recoupe en plusieurs tronçons un barreau trempé ABCD (fig. 22), chaque fragment *abcd* présentera, de face et de profil, des spectres semblables à celui du barreau tout entier, comme dans un bareau aimanté tous les fragments se présentent eux-mêmes comme de petits barreaux complets.

Il en est de même pour les transformations que l'on peut faire subir longitudinalement au corps par fraisage, émoulage, alésage, tournage, etc.; seulement, si la section nouvelle n'est pas semblable à la section primitive, il se produit des détentes partielles qui brouillent la figure polarisée.

Pour étudier le véritable spectre polarisé caractéristique d'une forme géométrique donnée, il faut être certain que le corps a été trempé directement sous cette forme même, sous peine de n'avoir pas les spectres vrais.

Ces corps dérivés d'autres formes géométriques trempées, réchauffés eux-mêmes presque au ramollissement et trempés à nouveau, ne donnent pas encore les spectres types spéciaux à leur dernière forme (fig. 25), ce qui démontre d'une façon évidente combien il est difficile, par un réchauffage ultérieur, de détremper un corps, de détruire dans toute la masse un état ou arrangement moléculaire une première fois acquis.

Cette remarque montre toute l'importance de la trempe appliquée en *fin de travail*, lorsque les molécules partant de l'état pâteux, soumises sans relâche à des martelages ou des réchauffages successifs, ont conservé leur état amorphe, jusqu'au centre même du corps travaillé, et s'offrent à l'action de la trempe dans un état de malléabilité et d'homogénéité qu'on ne retrouvera plus par la suite, quand ces molécules se seront modifiées sous une forme cristalline donnée.

Il n'est pas inutile de rappeler que ces figures ou ces ondes polarisées, dont nous venons de parler, sont exactement celles que produisent les sons musicaux au travers des plaques de verre ou métalliques vibrantes : ce que l'on vérifierait en examinant de même à la lumière polarisée la plaque mise en vibration par un archet, ou en saupoudrant de sable fin la même plaque et lui laissant dessiner les mêmes figures que nous avons décrites.

Digitized by Google

Nous ne pouvions oublier de rapprocher ces phénomènes, en témoignage de l'unité parfaite des grandes lois qui régissent les vibrations sonores, mécaniques et lumineuses.

II. — STRATIFICATION ISOTHERME.

A côté de ces apparences polarisées, qu'on trouve aussi curieuses et aussi singulières dans une plaque mince de mica, de gypse; par exemple, n'existe-t-il pas d'autres constitutions physiques plus importantes encore, comme dans le même mica se rencontre la structure feuilletée, autrement plus importante au point de vue industriel?

Les révélations précédentes, rapprochées des résultats identiques provoqués par des pressions extérieures puissantes, démontrent clairement que les corps trempés sont soumis en tous sens à une compression énergique permanente sous l'étreinte de leur couche-enveloppe. Que peut-il se produire, sous cette pression continue, par le refroidissement progressif plus ou moins rapide du corps pendant la trempe, refroidissement qui est lui-même une fonction directe de cette forme extérieure?

Essayons de l'analyser et de le prévoir d'avance, et ce que nous allons dire s'appliquera aussi bien au réchauffage préalable qu'au refroidissement subséquent.

Considérons une plaque rectangulaire et deux files de molécules m_1, m_2, m_3..... prises sur deux parallèles équidistantes de deux faces adjacentes; ces molécules se refroidiront en même temps, se refroidissant également par rayonnement ou conductibilité suivant les demi-cercles extérieurs, et étant également réchauffés, du côté de la masse intérieure plus chaude, par les demi-cercles intérieurs. Mais, au point de rencontre sur la diagonale AD, la molécule m refroidie suivant trois quarts de cercle extérieurs, réchauffée suivant un quart intérieur, aura été refroidie bien avant m_1, m_2, m_3, m_4..., et la molécule de la diagonale, qui se refroidira *en même temps* que ces dernières, sera plus reculée vers l'intérieur, en m'; il en sera de même pour les molécules voisines de cette diagonale, et la ligne des points m qui se refroidiront au même moment, ou la *ligne isotherme m* sera composée de deux allignements m_1, m_2, m_3, m_4, parallèles aux faces, et raccordés au droit de l'angle par une courbe que l'expérience nous fera connaître.

Mais ces molécules m se coagulant en quelque sorte simultanément sous la pression constante de l'enveloppe, formeront une couche stratifiée, comme le mica, le schiste, l'argile, etc., quand ils se déposent sous pression; et nous devons avoir des couches ou stratifications superposées et parallèles, avec des courbures en face de l'angle et des couches plus écartées et plus lâches sur le cours de la diagonale.

Ce qui est vrai dans ce plan s'appliquera aussi bien, dans un prisme, à un angle dièdre ou trièdre, en remplaçant dans le raisonnement précédent les droites ou les lignes courbes par des plans et des surfaces courbes. Il en en sera de même pour tous les plans méridiens d'une surface de révolution, comme un cylindre, et les couches stratifiées seront des cylindres rac-

Digitized by Google

cordés à des plans parallèles à la base par des quarts-de-tore ou des surfaces sphériques.

Si, au lieu d'un angle *saillant*, nous considérons un angle *rentrant*, la même analyse nous conduira à prévoir des résultats aussi singuliers.

La molécule *m* sur la diagonale AD (fig. 26), à la rencontre de deux files équidistantes des bords adjacents AB et CD, réchauffée par trois quarts-de-cercle, refroidie suivant un quart, se refroidira plus tard que m_1, m_2, m_3; la molécule *m'* qui se refroidit en même temps que celle-ci, est plus rapprochée de l'angle, et la *courbe isotherme m* se rapproche de l'angle. Il en est de même pour les autres couches, et aussi du côté de l'autre angle rentrant; à la hauteur d'un angle rentrant, le noyau central sera donc comme dilaté et raréfié.

Un bourrelet, une baguette sur le cours d'un cylindre, par exemple, exercera la même influence perturbatrice sur la stratification concordante des couches isothermes. La courbe isotherme se rapprochera des arêtes rentrantes; en face du saillant, le refroidissement étant plus rapide, la courbe isotherme s'éloignera du saillant, et il résultera de ces déviations une diminution de l'action de frettement au droit de la baguette ACB, et une section faible ou de moindre résistance, tout à fait à l'encontre du renforcement qu'à première vue on a cru produire par cette surépaisseur ou cette frette naturelle [1].

Ces prévisions théoriques se vérifient complétement en pratique, et l'on peut déterminer par expérience la forme des courbes ainsi engendrées par les angles et les arêtes.

Les prismes, les plaques rectangulaires, trempés, tendent à *arrondir* leurs angles ou leurs arêtes par des arcs de cercle ou de sphère plus ou moins exactement tangents aux faces ou côtés à raccorder. On met ce fait mieux en lumière en provoquant une stratification plus nettement tranchée par un un réchauffage ou un refroidissement très-brusque, en *étonnant* la pièce : les angles dièdres ou polyèdres s'enlèvent d'eux-mêmes en laissant à leur place un arrondissement cylindrique ou sphérique, suivant le cas; l'arête se détache en prisme triangulaire à une face cylindrique concave, l'angle en pyramide à base sphérique concave (pl. 106, fig. 28 et 29).

Un barreau cylindrique à bases planes se termine, dans les mêmes circonstances, par deux demi-sphères plus ou moins exactement inscrites dans le cylindre primitif (fig. 30).

Un angle polyèdre quelconque tendra toujours à faire place à une surface sphérique inscrite dans son angle.

Tous ces arrondissements représentent les formes d'équilibre le plus stable ou de plus grande résistance pour les corps réchauffés ou trempés.

1. D'un autre côté, pour toute variation de section, raccordée ou non par un congé (portée, tourillon, manivelle, etc.), à réchauffage égal, le refroidissement se faisant par une plus grande surface est plus intense, le grand diamètre se contracte proportionnellement notablement plus que le petit; il en résultera un double cisaillement aux deux plans de raccordement, et cela compromettra encore certainement la résistance de la pièce sur cette partie.

Digitized by Google

Un cylindre annulaire trempé se donnera, au refroidissement, au lieu de la base plane, un arrondissement sphérique rentrant légèrement en bec-de-lièvre, si la trempe n'a été qu'extérieure, ou se rapprochant d'un demi-tore, si le refroidissement a tendu à se faire également à l'intérieur comme à l'extérieur (pl. 106, fig. 31).

Si, par impossible, le cylindre avait été trempé plein, puis foré (fig. 30), l'alésage intérieur aurait rencontré vers la base normalement ou sous un grand angle les couches stratifiées, et le passage des couches parallèles aux couches normales aurait présenté un défaut de soudure et de résistance particulièrement dangereux dans certaines applications.

Ces bases ainsi modifiées par la trempe, avec leur stratification discordante, ne présentent pas la résistance et la cohésion dues ailleurs au frettage énergique des couches parallèles; dans les cas où l'on aurait besoin, vers ces bases, d'une extrême résistance, il serait prudent de supprimer au tour ou à la meule toute la partie affamée par les congés ou brouillée par la discordance des couches et de reporter la base plane en arrière, dans la partie saine, où toutes les couches bien concentriquement parallèles se soutiennent énergiquement les unes les autres; ajoutons que, sous cette compression bien homogène, le grain sera plus fin, mieux enchevêtré, et que, par suite, le corps sera plus résistant par sa constitution même.

Ces observations et ces remarques sont surtout importantes au point de vue d'applications que, par extension, nous proposerons d'en faire à d'autres corps que le verre.

Par son extrême sensibilité pour la trempe, le verre peut nous fournir encore de précieux enseignements sur les précautions à prendre en vue de conduire à bien cette opération délicate, et d'obtenir toute la régularité et l'homogénéité nécessaires.

Nous avons vu précédemment qu'il était fort difficile de faire pénétrer jusqu'au noyau central, sans fondre la partie superficielle, une quantité de chaleur suffisante pour détruire bien complétement une structure cristalline antérieurement acquise; il est tout aussi important, et tout aussi difficile, de réchauffer bien également les pièces même à la surface, et de les refroidir ensuite de la même façon. Même pour de petites pièces, facilement maniables, on reconnaît à beaucoup de caractères combien cette condition est difficile à réaliser: à l'excentricité et aux déviations des figures polarisées, à l'inégale distribution des stries, au contournement ou à la non-symétrie des cassures isothermes, etc., on constate que le chauffage ou le refroidissement a été irrégulièrement dispensé. Dans le four à réchauffer, comme dans le bain de trempe, il faut fréquemment tourner les pièces autour de leur axe et bout pour bout; sans cela, les côtés qui regardent la voûte ou ceux tournés contre la sole, les extrémités tournées vers l'autel ou celles en face de la porte se présenteraient à la trempe dans des conditions de température assez sensiblement différentes, surtout à l'intérieur[1].

1. De même, pendant la trempe, la face inférieure du corps immergé est beaucoup plus énergiquement refroidie que la face supérieure par le courant ascendant du liquide froid.

Digitized by Google

Les supports, pendant le chauffage ou la trempe, exercent aussi une très-grande influence suivant leur chaleur spécifique et suivant qu'ils gênent ou non la transmission de la chaleur ou la circulation refroidissante du bain de trempe.

III. — Stratification conique.

Il se manifeste encore par la trempe une autre orientation moléculaire, qui ne devient bien sensible que pour les trempes assez dures, et dont nous devons parler et rechercher l'explication.

M. de Luynes avait remarqué qu'une larme batavique, sciée suivant son grand cercle ou son équateur, se séparait en deux tronçons terminés par deux cônes en regard; à droite et à gauche de ce milieu, les sciages donnaient encore des tronçons coniques, mais dirigeant leur pointe vers le centre de la larme; il avait trouvé la même disposition de cassures coniques symétriques dans un barreau de verre trempé (pl. 106, fig. 32).

Nous avons, d'une façon plus générale, observé la même loi et les mêmes cassures lancéolées sur des tubes, des flacons, des bouteilles, des lames de verre trempé, essayés à la rupture par flexion (fig. 33).

Des barreaux de verre trempé dur et se brisant spontanément présentent aussi bien, après dégagement des arêtes et dans le noyau en équilibre, des cassures à emboîtement conique; mais en outre on s'aperçoit que le verre a pris dans la masse une texture fibreuse en faisceaux d'aiguilles convergeant vers le sommet du cône[1] (fig. 34).

Ce que nous avons dit du mode d'action de la trempe nous permet d'expliquer assez facilement ce phénomène, à première vue bien singulier.

Si nous supposons, en effet, une section rectangulaire d'un prisme, d'un cylindre (fig. 35), et que nous prenions un point m dans une des quatre parties symétriques de cette section, en vertu des compressions et rétractions provoquées par la trempe cette molécule se trouve poussée :

1° Parallèlement à la grande face AB dans une direction $m1$;

2° Parallèlement à la petite face par une autre composante, dans le sens $m2$; cette molécule est dès lors sollicitée par une résultante oblique mO; toutes les molécules sur cette direction mO sont sollicitées dans le même sens, avec une intensité qui décroît en allant de m vers O; m se trouve donc comprimer sa voisine m'. Dans le refroidissement progressif, les molécules m, m'... se soudent entre elles bout à bout; de là, comme conséquence naturelle, la constitution d'une fibre aiguillée suivant mO. Il en sera de même pour toutes les zônes parallèles : les choses se passeront symétriquement par rapport aux deux axes de symétrie de la figure $\alpha\beta$ et $\gamma\delta$; c'est ainsi que se produit la texture fibreuse qui favorise le décollement suivant deux cônes ou deux files de fibres juxtaposées.

Cette tendance à la stratification conique se manifeste très-peu sensiblement avec des trempes douces, tout comme la stratification isotherme, et

1. On nous assure que cette cassure conique, avec emboîtements convexe et concave, se rencontre pour certains aciers trempés, dans les essais à l'allongement, la surface de la cassure présentant également l'aspect soyeux.

Digitized by Google

elle est toujours moins accusée que cette dernière : on conçoit, en effet, que ces soudures d'une couche concentrique à l'autre entre molécules de températures un peu différentes, se réalisent beaucoup moins bien que la soudure dans une même couche entre éléments placés exactement dans les mêmes conditions physiques.

Comme conclusion pratique de ces expériences, nous avons le projet de généraliser et d'étendre à tous les corps trempés les observations et les conséquences que nous a suggérées l'étude attentive de la trempe faite sur le corps le plus impressionnable à son action : la fonte et l'acier se présentent les premiers pour bénéficier de ces remarques.

Il n'est pas facile de démontrer directement que le verre, la fonte et l'acier doivent se comporter de la même façon devant la trempe; mais ils le font dans tant d'autres circonstances parallèles, que l'induction qui leur prête la même tendance en présence de la trempe, ne semble pas bien hardie; cette extension ou cette généralisation conduira d'ailleurs à des excès de précaution qui ne seront jamais nuisibles.

Le verre, la fonte et l'acier ne sont pas séparés par des systèmes cristallins qui introduisent dans leurs constitutions respectives des propensions perturbatrices. Leurs cassures présentent un aspect comparable. L'acier, par la trempe, va du grain grossier, des gros cristaux au grain fin, quelquefois même à texture soyeuse, dont parle M. Chernoff, et qui est constitué par des molécules soudées les unes aux autres. Pour le verre, il n'est pas facile de surprendre, dans un corps aussi translucide, les cristaux qui peuvent se former par le refroidissement lent, quoique la fragilité et la facilité de coupe au diamant laissent bien présumer le peu de solidarité et de soudure qui existe alors entre les éléments du corps dans cet état; mais, à l'autre extrémité de l'échelle, par la trempe *à outrance*, dans la larme batavique, on trouve bien le grain fin et amorphe, puisque la rupture brusque de la larme laisse dans la main un sable grenu, presque opaque.

L'élasticité, la ténacité et la sonorité se développent par la trempe dans le même sens, et dans le verre et dans l'acier.

Enfin, dans les mêmes conditions, les vibrations sonores, au travers d'une plaque de verre ou d'une plaque d'acier, affectent de même les unes et les autres molécules et donnent les mêmes lignes nodales; pourquoi les vibrations mécaniques, qui sont absolument du même ordre, agissant comme les précédentes dans le verre, ne se transmettraient-elles pas identiquement dans les deux corps?

Les théories précédentes n'empruntant que des considérations physiques et mécaniques, n'étant pas perturbées par des tendances cristallines antagonistes, il semble qu'il n'y ait aucune témérité à réunir le verre, la fonte et l'acier dans les mêmes conclusions.

Comme précaution générale, l'expérience du verre montre que, pour obtenir avec le plus de sécurité le plein effet de la trempe, il faut s'efforcer de tremper les pièces *en fin de travail*, après coulée, forgeage ou martelage continu, et au besoin après un réchauffage superficiel de l'enveloppe re-

Digitized by Google

froidie par le contact de l'air et par le rayonnement[1] : s'il faut réchauffer complétement le corps il faut y procéder bien graduellement et bien également, afin d'éviter les séparations brusques entre l'enveloppe et le noyau central, retourner la pièce, changer les points d'appui, et, au besoin, faire pénétrer la chaleur dans la masse par le martelage, par la transformation du travail en chaleur ; à la trempe, ne point surpendre trop les pièces, pour éviter de les faire fendre ou gercer sous un effort de compression trop brusque, et disposer à cet effet de plusieurs moyens de refroidissement gradué. Nous avons proposé d'ajouter aux bains connus, à l'eau et à l'huile, la vapeur qui entoure bien le corps et dont on peut régler et diriger l'action à volonté ; il faudra souvent conduire l'opération avec une certaine lenteur relative ; car, pour une même différence de température entre le noyau et l'extérieur, la couche enveloppe ne peut, dans l'unité de temps et par unité de surface, laisser passer qu'un nombre limité de calories. Une trempe plus lente, plus douce, au moins pour commencer, tout en préparant le même résultat final de compression, sera plus favorable à la conservation des pièces. On ne devra immerger la pièce dans l'eau ou l'huile que lorsque l'enveloppe refroidie sera suffisamment épaisse et résistante.

Les supports, au chauffage et au refroidissement, ne devront empêcher la diffusion régulière et uniforme des variations de température, sous peine de donner naissance à des déviations des lignes nodales et isothermes, à des excentricités absolument défavorables à la bonne résistance de la pièce. Il faudra souvent changer la pièce de position et de sens dans le four et dans le bain, et se préoccuper surtout de la température acquise par le centre.

Quant à la forme des pièces à tremper, il faudra éviter les angles, les arêtes, saillants ou rentrants, les jarrets, toute variation sensible de section transversale, tous les changements de direction non raccordés par de très-grands arrondissements ou congés ; sans quoi, il y aura toujours dans ces régions une section ou un point faible, ou une discordance de couches dangereuse. Eu un mot, il faut se rapprocher le plus possible des formes cylindriques et sphériques continues, et composer les pièces de ces seuls éléments géométriques ; ces formes, les plus favorables à un frettage régulier et énergique, donnent la plus grande cohésion intérieure.

1. L'acier, après forgeage ou réchauffage, abandonné librement à lui-même, au refroidissement à l'air, se trempe plus ou moins comme le verre, mais irrégulièrement par l'action inégale du rayonnement et des courants d'air qui lèchent sa surface ; cette trempe inégale occasionne souvent les ruptures imprévues des pièces à froid, par le défaut d'équilibre entre les molécules irrégulièrement distendues.

Pour avoir de l'*acier non trempé*, il faut lui assurer un refroidissement très-lent, très-régulier, très-égal, à l'abri de tout courant d'air, dans des espaces fermés, même dans des bains de sable, de fraisil, etc., préalablement chauffés fortement.

Inversement, quand on veut obtenir une pièce *bien trempée*, il faut, s'il est possible, empêcher la trempe naturelle irrégulière, et trouver des molécules *malléables* jusqu'au centre de la pièce, en trempant en fin de travail ; si on ne le peut pas, il faut effacer par le recuit la trempe naturelle compromettante pour la pièce, lui substituer une trempe régulière, en y procédant le plus rapidement possible, pour ne pas laisser aux ruptures spontanées le temps de se produire.

Digitized by Google

Si la pièce peut les comporter définitivement, il faudra évidemment les lui donner avant la trempe.

Quand elles ne seront pas admissibles, il y aura souvent intérêt à les adopter transitoirement pour la trempe; l'usure à la meule, à la lime, à la fraise d'une portée, d'un tourillon, d'une manivelle, etc., ne modifiera pas l'état grenu intérieur, et l'on devra souvent perdre le bénéfice d'une écorce superficielle plus dure, pour avoir plus d'homogénéité et de cohésion dans la masse.

Suivant la destination des corps trempés, suivant qu'ils doivent agir par choc ou pression, résister à la traction, à la flexion, à la torsion ou à des pressions intérieures, il faudra examiner l'influence que peuvent avoir ces soudures ou ces défauts de soudure que favorise la forme donnée aux corps trempés.

Nous ne pouvons ici passer en revue tous les cas, nous en examinerons cependant un d'une extrême importance : nous voulons parler des pièces destinées à résister à d'énormes pressions intérieures, comme les canons. Il faut assurer la symétrie et l'homogénéité les plus grandes aux couches concentriques; pour cela, supprimer plus soigneusement que partout ailleurs les jarrets, les arêtes, les bourrelets, les cordons. Enfin, pour assurer aux abouts toute la solidité particulièrement désirable, laisser à chaque extrémité une masselotte d'au moins un rayon de hauteur, qu'on recoupera au tour pour reporter la base franche dans la partie cylindrique saine (fig. 30). De plus, si les rondelles d'épreuve réglementaire, qui se lèvent actuellement aux bouts de la pièce, précisément dans les parties *brouillées*, satisfont déjà aux conditions de résistance exigées, l'acier, dans la partie saine, présentera une résistance bien supérieure, circonstance qui, bien établie, devrait être mise à profit pour diminuer, dans une proportion notable, l'épaisseur du métal, et par suite le poids de la pièce; cette conséquence aurait le plus grand prix.

Il sera important, pendant le réchauffage et pendant la trempe, de ne pas faire porter la pièce sur la même génératrice ou sur les mêmes points d'appui, sans quoi la température des points de contact pourrait ne pas suivre celle de tout le reste, et les couches intérieures seraient excentrées, rapprochées de ces points, ou bien l'on aurait des nœuds brouillés.

Nous ne pouvons, dans ce résumé, aborder l'étude des applications qui sont la conclusion immédiate des observations citées; ces conséquences, qu'on peut tirer de l'étude d'un corps impressionnable entre tous à ces actions, pourront conduire à un excès de précautions, mais on n'aura jamais à se repentir d'un excès de cette nature...

M. LE PRÉSIDENT fait ressortir l'importance des questions traitées par M. Léger et le soin avec lequel elles ont été étudiées. Il croit qu'on pourra tirer des faits cités dans son Mémoire des indications utiles sur la question encore assez obscure de la forme à donner aux modèles pour obtenir des pièces fondues longues, droites et légères.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Léger de son intéressante communication, et M. Gauthier, de l'extrait qu'il vient de présenter.

Digitized by Google

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Quéruel, faite à la dernière séance, sur l'utilisation de la puissance dynamique de gaz.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Dubuc, au sujet de cette communication.

M. Dubuc dit que depuis 1868 il a construit environ 150 de ces machines.

En 1872, dans les machines pour l'élévation d'eau, qu'il a construites, il a appliqué pour le démarrage, son système de soupapes permettant d'introduire au besoin directement sur les deux cylindres, la vapeur venant du générateur et permettant, en outre, de séparer complétement l'introduction de la vapeur dans les cylindres, de façon à pouvoir au besoin ne marcher qu'avec le grand ou le petit cylindre, ou introduire seulement dans ce dernier, la vapeur directe du générateur pour marcher avec prolongement de détente dans le grand cylindre.

Il a de plus, en 1873, appliqué à une machine routière de M. Dalifol, un tiroir de démarrage produisant les mêmes effets que son système de soupapes.

M. Mékarski croit devoir présenter quelques observations au sujet de la disposition Compound, dont MM. Quéruel et Mallet se sont accordés dans la dernière séance à préconiser l'emploi.

Il ne conteste pas que ce système appliqué aux machines à condensation ne présente des avantages fort appréciables au point de vue tant de la régularité du travail que de l'utilisation de la vapeur dont il permet de pousser très-loin la détente.

Il admet également qu'en fractionnant l'expansion entre deux cylindres, et en diminuant ainsi dans chacun d'eux la chute de chaleur, on prévienne des condensations nuisibles au moment de l'admission, et que l'on réduise en conséquence la dépense de vapeur. Il ne croit pas, toutefois, que l'inconvénient dont il s'agit soit très-sensible dans les machines mono cylindres à enveloppe, et leur constituent une infériorité bien marquée.

On peut également objecter que la plus grande complication de l'organisme et son plus grand volume élèvent le prix de revient et rendent l'entretien plus coûteux.

Malgré ces réserves, M. Mékarski n'hésite pas à reconnaître que les machines Compound à condensation doivent être considérées comme de fort bonnes machines.

Les mêmes avantages se retrouvent-ils dans l'application de ce système aux locomotives? C'est ce dont M. Mékarski est loin d'être convaincu, et les résultats cités par M. Mallet ne sont pas de nature à modifier son opinion à cet égard.

Il ne voit pas, en effet, que le chiffre de 4 kilogs., auquel s'est élevée en moyenne la dépense de charbon des locomotives du chemin de Bayonne à Biarritz, par kilomètre de parcours, permette de leur attribuer une supé-

Digitized by Google

riorité sur les locomotives ordinaires qui ne brûlent guère que le double en remorquant des trains deux fois plus lourds.

M. Mékarski n'est pas surpris de ce résultat, car les raisons sur lesquelles on se fonde pour établir cette supériorité ne lui paraissent pas déterminantes.

Le bénéfice de la détente est, en effet, peu sensible lorsqu'on la prolonge très-près de la limite indiquée par la valeur de la contre-pression et qu'il ne faut en aucun cas dépasser.

L'inspection du diagramme fait voir qu'au delà d'une certaine valeur, qui dépend du rapport de la contre-pression à la pression initiale de la vapeur, on gagne assez peu pour que, compensation faite avec le travail absorbé par les résistances passives, le bénéfice puisse être considéré comme à peu près nul.

On peut également s'en rendre compte au moyen de la formule qui donne l'expression du travail utile d'un volume v de vapeur dépensé à la pression H et détendu dans une capacité $V = Kv$, la contre-pression extérieure étant h.

On sait, en effet, que l'on a :

$$T_m = vH\left(1 + LK - K\frac{h}{H}\right) \qquad (1)$$

Pour deux valeurs différentes de K, les autres éléments restant constants, le travail varie dans le rapport :

$$\frac{T'_m}{T_m} = \frac{1 + LK' - K'\frac{h}{H}}{1 + LK - K\frac{h}{H}}. \qquad (2)$$

La contre-pression h, dans une locomotive, ne peut être évaluée à moins de 1k,15 par centimètre carré et la pression initiale de la vapeur sur le piston à plus de 7 kilogrammes, en raison de la vitesse du fonctionnement, même lorsque le régulateur est ouvert en plein.

Le rapport $\frac{h}{H}$ est donc ici d'environ 0.15.

Cela étant, pour $K' = 6$ et $K = 3$, on a :

$$\frac{T'_m}{T_m} = \frac{1,89}{1,64} = 1,15,$$

c'est-à-dire, qu'en portant la détente de 3 volumes à 6 on ne gagne comme utilisation pas plus de 15 pour 100.

Au reste, l'honorable M. Mallet lui-même insiste assez peu sur cet avantage et s'attache plutôt à faire valoir celui qui résulterait du fractionnement de l'expansion et par conséquent de la moindre chute de chaleur.

Ce raisonnement est-il bien fondé, et n'est-ce pas une illusion que de supposer sous ce rapport une différence quelconque entre le fonctionnement ordinaire où, par suite de l'emploi de la coulisse, la détente ne peut guère

Digitized by Google

être portée à plus de 2 volumes et demi[1], et le fonctionnement Compound ou l'expansion étant en tout, de 6 volumes, serait d'environ 3 volumes dans le petit cylindre et 2 dans le grand.

Les condensations, s'il s'en produit, n'auront-elles pas la même importance, puisque les chûtes partielles de chaleur dans le second cas sont à peu près de même valeur dans chaque cylindre que la chute totale dans le premier cas? pour être successives, donneront-elles lieu à une moindre perte de calorique?

M. Mékarski ne peut pas d'avantage admettre que le chiffre de 4 kilogs. par kilomètre fasse ressortir la dépense par cheval et par heure à environ 1k,500.

Le calcul approximatif des résistances, sur les données fournies par M. Mallet conduit à un résultat assez différent, mais, sans entrer dans aucun détail, n'est-on pas en droit, *à priori*, de repousser une conclusion tendant à établir qu'une locomotive peut ne pas consommer davantage que les bonnes machines fixes à condensation.

Il est facile, en effet, de s'assurer que la dépense de vapeur de la meilleure locomotive, même du système Compound, est environ le double de celle d'une machine à condensation que pour plus de simplicité nous supposerons du même système.

La formule posée précédemment peut s'écrire :

$$T_m = v\,[H\,(1 + LK) - Kh]. \qquad (3)$$

Sous cette forme il est facile de comparer le travail produit, à dépense égale de vapeur, ou inversement la dépense de vapeur, à travail égal, d'une locomotive détendant à 6 volumes et d'une machine à condensation détendant à 4 volumes dans le petit cylindre et à 3 dans le grand, soit en totalité à 12 volumes.

Le rapport a pour expression :

$$\frac{T'_m}{T_m} = \frac{H\,(1 + LK') - K'h'}{H\,(1 + LK) - Kh}. \qquad (4)$$

Dans le premier cas la contre-pression peut être réduite à 0,15; elle doit dans le second être évaluée à 1k,15.

Faisant $K' = 12$; $K = 6$ et $H = 7$ kilogs. il vient :

$$\frac{T'_m}{T_m} = \frac{22,59}{12,63} = 1,79.$$

Si l'on tient compte, en outre, de ce que la locomotive ne fonctionne pas constamment avec ce degré de détente, et que son état d'entretien est forcément plus défectueux que celui d'un appareil dont la surveillance est beaucoup plus facile, comme enfin de ce que son fonctionnement est beau-

1. La distribution par la coulisse a pour effet, lorsqu'on marche à une faible admission, de créer une avance à l'échappement considérable, et qui réduit notablement la détente, en sorte qu'avec une introduction de 0.30, la moindre que l'on puisse employer sans sortir des conditions d'un bon rendement, la détente n'est en réalité que de 2 volumes 1/2.

Digitized by Google

coup plus rapide, on n'hésitera sans doute pas à admettre que le coefficient doive être porté à 2.

Ce raisonnement conduit à évaluer à 18 kilogs. de vapeur par force de cheval la dépense probable d'une bonne locomotive, car on sait que les meilleurs constructeurs ne garantissent guère moins de 9 kilogs. pour les machines fixes des types les plus perfectionnés.

La vaporisation étant supposée de 7 kilogrammes par kilogs. de charbon la dépense de combustible par cheval ressortirait à 2k,50.

On peut s'assurer maintenant que cette conclusion n'est nullement en désaccord avec les faits cités par M. Mallet.

M. Mékarski admet que la résistance au mouvement des trains sur le chemin de Bayonne à Biarritz soit évalué à 6 kilogs. par tonne et il fait voir que la présence des rampes dont M. Mallet a indiqué la longueur et l'inclinaison a pour effet d'augmenter moyennement ce chiffre d'environ 2 kilogs. Le poids moyen des trains est de 50 tonnes. Le travail utile par kilomètre ressort à 400,000 kilogrammètres, soit 100,000 kilogrammètres par kilogramme de charbon brûlé.

En conséquence, par force de cheval et par heure, soit 270,000 kilogrammètres, la dépense de charbon serait de 2k,70 et non de 1k,50.

Il est encore un point sur lequel M. Mékarski a le regret de se trouver en désaccord avec M. Mallet.

Il s'agit de la diminution du tirage par suite de la réduction du nombre de coups d'échappements, diminution que M. Mékarski persiste à croire très-réelle et susceptible de causer de sérieux embarras si la machine avait à faire dans ses conditions normales de fonctionnement un trajet plus long que celui de Bayonne à Biarritz.

Lors même qu'il résulterait de l'emploi du système une moindre dépense de vapeur et par conséquent de combustible, l'inconvénient n'en subsisterait pas moins, bien que la quantité de gaz à évacuer par la cheminée diminuât proportionnellement, car pour rester dans les mêmes conditions il faudrait que le même poids de vapeur communiquât aux gaz la même quantité de force vive, et pour cela que la pression de cette vapeur à l'échappement ne fût pas moins élevée. Or la disposition Compound a précisément pour effet, on peut dire même pour objet, de diminuer cette pression.

L'expérience citée par M. Mallet, et dans laquelle la vaporisation s'est élevée à 50 kilogs. par mètre carré de surface de chauffe n'est nullement concluante, car les conditions mêmes dans lesquelles semble s'être fait cet essai, permettent de croire que la machine fonctionnait alors avec admission dans les deux cylindres, c'est-à-dire, comme une locomotive ordinaire et non comme une Compound.

Le trajet de Bayonne à Biarritz étant assez court, le tirage pourrait être insuffisant sans qu'il en résultât aucune difficulté. On perd sans doute un peu de pression dans le parcours et on remonte pendant les stationnements. Mais il serait intéressant de savoir comment la machine se comporterait si elle avait à effectuer de longs trajets.

Digitized by Google

M. Badois croit voir dans les exemples cités, par M. Mékarski, une anomalie qui doit vicier les conclusions que leur auteur en a tirées; il fait remarquer que la quantité représentant la contre-pression dans l'exemple des machines fixes, n'est pas dans le rapport de l'expansion avec la pression initiale de la vapeur dans le cylindre, tandis qu'il en est ainsi dans l'exemple des locomotives. Il n'y a donc pas de comparaison possible.

M. Mékarski explique que la valeur *h* ne représente pas l'état final de la pression dans le cylindre, à la fin de la détente, mais bien la contre-pression extérieure, c'est-à-dire la résistance opposée au piston par l'atmosphère ou par la pression existant dans le condenseur. Cette valeur est absolument indépendante de la pression initiale ou finale de la vapeur admise dans le cylindre et l'usage qu'il en a fait dans le calcul de comparaison est, selon lui, parfaitement légitime.

M. Roy demande à répondre à différents points traités par M. Mékarski.

Il ne croit pas que le rapport 1,79 auquel M. Mékarski est arrivé, doive encore être augmenté en pratique, au détriment des locomotives; il pense au contraire qu'il devrait être diminué, car l'influence des espaces nuisibles augmente rapidement, à mesure que la détente est poussée plus loin; en effet, ils restent constants, tandis que le volume de vapeur admis à pleine pression dans le cylindre diminue.

Il y aurait donc de ce fait un avantage en faveur des locomotives, au point de vue théorique posé par M. Mékarski, puisque dans des machines l'admission de vapeur est plus grande que dans les machines fixes citées par M. Mékarski.

M. Roy conteste l'assertion émise par M. Mékarski en ce qui concerne la limite de détente dans les locomotives. Dans les locomotives du chemin de fer de Lyon, avec une admission de 0,30 on n'obtient pratiquement, il est vrai, qu'une expansion de 2,5 volumes, mais avec une admission de 0,20, on arrive facilement à une expansion de 3 volumes.

La consommation de vapeur que M. Mékarski estime à plus de 18 kilog. par cheval et par heure, paraît trop élevée; M. Roy cite des exemples de locomotives ne consommant pas plus de 15 kilog.; il croit que cette quantité n'est sensiblement augmentée que lorsqu'il y a un entraînement d'eau anormal.

Quant à la production de vapeur que M. Mékarski trouve très-exagérée à 50 kilog. par mètre carré de surface de chauffe et par heure, M. Roy ne la croit pas extraordinaire, car on admet couramment dans l'établissement des locomotives une production moyenne de 45 kilog.

M. Brull croit que M. Mékarski a attribué au poids moyen du train remorqué par la locomotive de M. Mallet, une valeur trop faible puisqu'il n'a pas compté le poids propre de la machine. Le point de départ de la discussion aurait dû être 70 tonnes et non pas 50, le poids de la locomotive, en ordre de marche, étant de 20 tonnes environ.

M. Brull trouve en outre que la résistance moyenne du train, sans la machine, estimée à 8 kilogrammes par M. Mékarski, est trop faible, et que,

Digitized by Google

dans tous les cas, il faudrait y ajouter la résistance propre de la machine qui est d'environ 12 kilogrammes par tonne.

L'influence des courbes se traduirait aussi par une augmentation de résistance.

M. Brull croit donc que M. Mallet a estimé à une valeur à peu près exacte la puissance moyenne, développée par sa locomotive, tandis que M. Mékarski est arrivé à un résultat de beaucoup inférieur par suite des différentes erreurs signalées plus haut.

L'estimation de M. Mallet est d'ailleurs vérifiée par des diagrammes relevés à l'indicateur dans les conditions moyennes de marche.

M. Mékarski demande à répondre aux diverses observations faites par M. Roy et M. Brüll. Il dit que dans les machines fixes on est arrivé à réduire les espaces nuisibles à fort peu de chose, tandis que dans les locomotives, on est obligé de leur donner une certaine importance pour éviter que la compression résultant de l'emploi des tiroirs à recouvrement ne dépasse la limite convenable.

La dépense de vapeur peut bien être estimée à 15 kilog. pour des locomotives en excellent état, de même que certaines machines fixes peuvent ne pas dépenser plus de 7 à 8 kilog., mais il persiste à croire qu'il est prudent d'admettre comme chiffres moyens ceux de 9 kilog. pour les machines fixes, et de 18 kilog. pour les locomotives.

M. Mékarski ne conteste pas que les chaudières des locomotives ordinaires puissent vaporiser 45 kilog. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure; il a fait seulement remarquer que dans l'essai relaté par M. Mallet la machine ne fonctionnait pas comme locomotive Compound, et il craint que dans les conditions de marche normales, cette capacité d'évaporation ne puisse se maintenir.

M. Mékarski croit que la résistance moyenne de 8 kilog. par tonne qu'il a indiquée tient suffisamment compte de l'influence des rampes et des courbes, et il pense que pour apprécier le travail net d'une locomotive, on ne doit pas supposer sa résistance au roulement supérieure à celle des autres véhicules, le surplus constituant une perte analogue à celle qu'entraîne le fonctionnement de toute machine dont la puissance nette est mesurée sur l'arbre.

M. Roy combat les assertions de M. Mékarski, relatives à la manière dont il évaluait la résistance du train.

Il cite des résultats d'expériences dynamométriques de résistances de traction. Il dit que M. Polonceau a trouvé pour la résistance par tonne de wagons plate-forme chargés :

En patin et en ligne droite.	$3^k,20$
En courbe de 500 mètres.	$5^k,90$

Ainsi M. Roy en faisant des expériences analogues a trouvé, pour wagon plate-forme chargés et en ligne droite, $3^k,27$, mais avec des wagons fermés, et dans les conditions précédentes cette résistance atteignait 5.50 à cause

Digitized by Google

de la résistance de l'air. D'autre part, la résistance par tonne des wagons vides est beaucoup plus considérable que celle des wagons chargés; il y a de ce fait, au minimum, une différence de 2 kilog. par tonne; or, des wagons à voyageurs, qui offrent relativement une grande surface, ne pourront pas par tous ces motifs donner, en ligne droite et en patin, moins de 6 kilog. de résistance de fraction, donc M. Mallet n'a pas exagéré en comptant une résistance de 8 kilog. par tonne brute de train, en y comprenant la résistance moyenne due à l'action des rampes.

En ce qui concerne le coefficient à appliquer à la résistance de roulement de la locomotive, il ne saurait être compté à moins de 12 kilog. par tonne, attendu que M. Poiré, ingénieur du matériel au Chemin de fer de Paris à Lyon, trouva cette résistance égale à 11k,40, et que lui, M. Roy, faisant une expérience analogue bien des années après, trouva 11k,90.

L'appréciation de M. Mékarski n'est donc pas conforme aux résultats pratiques.

M. LE PRÉSIDENT est d'avis qu'en ce qui concerne la résistance des locomotives, le chiffre de 12 kil. par tonne est justifiée; il cite parmi les causes qui doivent contribuer à l'augmenter les déformations que subit le châssis avec l'action des efforts dus au mécanisme lui-même, et aux irrégularités que présente la voie tant dans le plan vertical que dans le plan horizontal.

M. ARSON s'étonne que l'examen qui se fait de l'opportunité de l'application du système Compound aux lomotives, ne mette pas en ligne de compte la solution si intéressante de l'application de la détente dans ces machines. Tout le monde sait cependant que pas un système de détente n'a pu être appliqué dans les locomotives, et que l'avancée et le recouvrement sont les seuls moyens pratiques qui ont pu survivre aux difficultés de l'application. Or, le système Compound, sans faire emploi d'autre moyen, permet de réaliser une détente plus parfaite, et paraît assuré par conséquent d'un succès fondé.

M. LE PRÉSIDENT propose de renvoyer la discussion à la prochaine séance, afin de permettre à M. Mallet, absent à la séance de ce jour, de répondre aux différentes observations présentées au sujet de sa communication.

M. LE PRÉSIDENT ajoute que la Société n'a pas oublié l'important Mémoire de M. Mallet sur la détente de la vapeur dans les cylindres, d'où résulte toute l'incertitude que présentent les formules dans lesquelles on introduit la loi de Mariotte.

Il rappelle qu'il est question de plusieurs applications de la disposition Compound aux locomotives ordinaires, et il espère que la Société sera mise dans quelque temps en présence de résultats d'expériences comparatives, qui auront certainement pour conséquence de rapprocher les opinions différentes qui viennent d'être émises.

Digitized by Google

ÉTUDE PRATIQUE

SUR LA

DISTRIBUTION DES EAUX DE SEINE

DANS LES COMMUNES DE

SURESNES, COURBEVOIE, ASNIÈRES, COLOMBES, GENNEVILLIERS NANTERRE ET RUEIL

Documents pratiques sur l'établissement hydraulique et données relatives à l'exploitation

PAR MM. GEORGES DUMONT ET HENRI DOAT.

Notre but, en publiant cette note sur l'organisation et l'exploitation de la Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris, qui a pour objet de distribuer l'eau de Seine nécessaire à tous les usages domestiques, industriels et agricoles dans sept communes importantes des environs de Paris, est de fournir un travail complet sur une affaire existant déjà depuis neuf ans, qui rend les plus grands services à une fraction importante de la banlieue ouest, et qui peut par cela même servir de modèle à la fondation d'une foule d'établissements du même genre.

Nous croyons que ce travail pourra être utile aux Ingénieurs qui s'occupent des questions de distribution d'eaux, ces sortes d'affaires tendant à se multiplier de jour en jour davantage, par suite des besoins domestiques toujours croissants des populations, et les documents sur ce sujet intéressant étant encore rares et peu précis.

Digitized by Google

Nous avons divisé notre étude en quatre parties, savoir :

I. — But de la Compagnie, ses origines, son établissement, son développement, sa constitution, ses statuts, son mode d'exploitation et organisation de ses divers services.

II. — Description des travaux exécutés pour la distribution des eaux : usine hydraulique, bâtiments, machines, générateurs, réservoirs, conduites.

III. — Description des machines élévatoires, puissance, rendement, prévisions.

IV. — Renseignements divers sur l'exploitation : consommation d'eau, prix de revient, abonnements, distribution par compteurs.

Des planches dessinées avec le plus grand soin accompagnent ce travail et fournissent tous les renseignements nécessaires pour établir des constructions analogues.

Qu'il nous soit permis avant de commencer ce travail d'adresser un juste hommage à MM. les Membres du Conseil d'administration de la Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris, qui améliorent chaque jour la situation déjà si prospère de la Société par leur gestion éclairée.

PREMIÈRE PARTIE

BUT ET ORGANISATION DE LA COMPAGNIE

La Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris, dont le siége est à Suresnes, a pour objet de distribuer les eaux de Seine dans les communes de Suresnes, Rueil, Nanterre, Colombes, Asnières, Courbevoie et Gennevilliers.

Ces communes, au nombre de sept, véritables faubourgs de Paris, limitrophes les unes des autres, comprennent une population déjà con-

Digitized by Google

sidérable et qui s'accroît de jour en jour avec une grande rapidité; les hameaux de la Garenne et de Bois-Colombes notamment prennent tous les jours une extension plus considérable.

Si on jette les yeux sur une carte des environs de Paris, on voit que ces communes, situées dans la presqu'île formée par la Seine, sont desservies par plusieurs voies ferrées dont les trains se succèdent à de courts intervalles.

De nouvelles lignes de tramways s'établissent tous les jours; aussi les constructions surgissent-elles de toutes parts.

Le mouvement d'émigration d'une certaine partie de la population parisienne dans la banlieue de Paris, arrêté un moment par les événements de 1870-1871, n'a pas tardé à s'accentuer depuis, et on peut prédire sans crainte de se tromper que d'ici à un très-petit nombre d'années, ces communes finiront par ne former qu'une seule grande ville dont certains quartiers seront parsemés de maisons de campagne et d'autres seront envahis par l'industrie.

Le projet de faire dans cette presqu'île un port de commerce et d'y créer une ville industrielle sillonnée de voies ferrées et de canaux, n'est pas aussi chimérique qu'on peut le penser au premier abord, et sera le complément nécessaire des grands travaux à exécuter dans un laps de temps plus ou moins prochain, soit pour rendre la Seine entièrement navigable, soit mieux encore pour mettre Paris en relation avec la mer par un canal de navigation.

L'exécution du chemin de fer du pont de l'Alma aux Moulineaux, à Suresnes et à Courbevoie, est commencée; cette ligne ne contribuera pas peu au développement des industries, qui en réclament depuis si longtemps l'ouverture.

Plusieurs causes doivent infailliblement amener la population à se fixer sur le territoire de ces communes : d'un côté la cherté toujours croissante des loyers à Paris, l'élévation des droits d'octroi sur les objets de consommation; d'un autre côté les grandes facilités de communication, les besoins de villégiature et aussi le déplacement des établissements industriels qui sont forcés de quitter l'intérieur de Paris pour émigrer dans la banlieue, émigration déjà commencée et qui ne fera qu'augmenter de jour en jour.

A l'exception de Courbevoie, que la Compagnie générale des Eaux desservait en partie jusqu'en 1869, et que la Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris alimente aujourd'hui, les sept communes préci-

Digitized by Google

tées n'avaient à leur disposition que des puits ne donnant qu'une eau insuffisante et insalubre.

Frappés de l'inconvénient d'un tel état de choses, MM. Adrien et Aristide Dumont, prirent l'initiative d'une grande amélioration : ils obtinrent des diverses administrations municipales la concession exclusive d'établir une distribution d'eau pour les besoins domestiques, industriels et agricoles.

Ils fondèrent alors, avec la collaboration des autres administrateurs actuels, une société qui, sous le nom de Compagnie des Eaux de la banlieue de Paris, possède et exploite depuis 1868 le privilége de pouvoir seule distribuer l'eau de Seine sur le territoire indiqué ci-dessus pendant une durée de soixante années, à partir de sa constitution définitive.

Il s'agissait tout d'abord d'obtenir l'eau dans les meilleures conditions de salubrité. A cet effet, l'établissement fut installé à Suresnes bien en amont d'Asnières, où vient déboucher, comme on sait, le grand égout collecteur de Paris.

La Compagnie, s'associant de plus en plus à un projet de l'administration supérieure, contribua concurremment avec les communes intéressées aux dépenses d'un drainage dans la commune de Suresnes, lequel rejette en aval de la prise d'eau toutes les eaux impures provenant soit des fabriques, soit des égouts de cette localité.

Cette eau, prise en amont du barrage établi sur la Seine en aval du pont de Suresnes, arrive par un aqueduc souterrain au puits d'alimentation creusé dans l'intérieur de l'usine (voir pl. 101, fig. 1), et c'est de là qu'elle est élevée par deux machines ayant chacune une force de soixante chevaux, dans deux réservoirs situés l'un au pied du dernier étage du Mont-Valérien, à la cote 91m.94 au-dessus du niveau de la mer, l'autre au rond-point des Bergères, à la cote 71m.50.

De ces deux réservoirs couverts, où elles se reposent, s'épurent et se rafraîchissent, les eaux s'écoulent par leur pente naturelle dans d'autres réservoirs qui assurent l'approvisionnement de chaque commune.

Du premier réservoir, dit de partage, les eaux s'écoulent à Suresnes et à Rueil (voir pl. 102, fig. 1).

Du second, celui des Bergères (fig. 2), elles se rendent à Nanterre, Courbevoie, Colombes, Asnières et Gennevilliers.

La pression est telle, que dans toutes les communes, l'eau peut

Digitized by Google

atteindre les étages les plus élevés de toutes les maisons, circonstance très-importante, non-seulement au point de vue de l'utilité et de l'ornement, mais encore à celui des secours en cas d'incendie, et ce qui est surtout apprécié des abonnés, on peut arroser directement à la lance, au moyen d'un tuyau en caoutchouc, grâce au système de distribution par compteur dont il sera parlé plus loin.

La canalisation a été exécutée exclusivement en tuyaux de fonte. Au début de l'exploitation, c'est-à-dire à la fin de novembre 1867, elle se développait sur une longueur de 41,265 mètres, tant pour relier entre elles les diverses localités comprises dans le périmètre de la concession, que comme moyen de distribution d'eau dans les quartiers habités de ces communes.

Mais, à partir de cette époque, la longueur du réseau n'a pas cessé de s'accroître, de sorte qu'elle dépasse aujourd'hui 118,000 mètres.

Cette augmentation rapide de la canalisation est la conséquence des traités passés avec les communes :

Aux termes des cahiers des charges, la Compagnie est tenue de canaliser les voies publiques, qui ne le sont pas encore, toutes les fois que se produisent des abonnements dont le montant annuel équivaut au 10 p. 100 du coût des travaux à faire.

Ces canalisations supplémentaires augmentent chaque année le capital de premier établissement, mais elles procurent aussi à la Compagnie le plus sûr moyen d'augmenter ses produits.

En effet, non-seulement elles ne sont établies qu'autant que les abonnements préalablement souscrits assurent un intérêt de 10 p. 100 au moins, mais elles donnent toujours lieu à des abonnements nouveaux de la part des propriétaires riverains qui n'avaient pas pris l'initiative, mais qui suivent l'élan une fois donné par leurs voisins.

Ceci nous procure l'occasion de signaler un fait commun à toute affaire de distribution d'eau :

En général, dans les entreprises de ce genre, les débuts sont difficiles pour se procurer une clientèle; mais s'il y a d'abord des hésitations dont la cause est due principalement aux frais des branchements à faire, cette clientèle arrive forcément parce que l'eau est un objet de première nécessité pour les besoins domestiques, industriels et comme moyen d'irrigation ; ceci est vrai surtout dans une riche banlieue dont les maisons ont presque toutes des jardins plus ou moins spacieux.

Digitized by Google

Comme complément de ces mesures et afin de tenir compte de l'influence fâcheuse qu'auraient inévitablement exercée sur le développement de l'entreprise les prix trop élevés pour les travaux de branchements extérieurs, dont elle a le monopole, la Compagnie a organisé elle-même des ateliers de plomberie et arrêté, de concert avec les municipalités, un tarif qui, tout en étant rémunérateur, ménage les intérêts des abonnés.

Aussi dans la plupart des cas, ceux-ci trouvent-ils avantageux de charger la Compagnie de leurs travaux de distribution intérieure.

Après avoir jeté un rapide coup d'œil sur l'économie générale du système, et avant de passer à la description détaillée des divers travaux exécutés pour assurer la distribution de l'eau, il convient de faire connaître en quelques mots l'organisation financière et administrative de la Compagnie.

La Compagnie anonyme des Eaux de la banlieue de Paris a été constituée au capital de 2 millions de francs, divisés en 4,000 actions de 500 francs.

Une partie de ces actions fut donnée en payement à la Compagnie des conduites d'eau, dont le siége est à Liége (Belgique), pour la construction de l'usine hydraulique, des réservoirs, la pose des conduites et la fourniture des machines.

Le reste du capital fut immédiatement souscrit lors de la fondation par les premiers administrateurs, au nombre de huit, savoir :

MM. de Corcelles, ambassadeur; A. Nothomb, ancien ministre de Belgique; le baron de la Tullaye, propriétaire; le comte Henri de Meeûs, administrateur dé la Société des hauts fourneaux et charbonnages de Sclessin; Léopold de la Vallée-Poussin, administrateur de la Compagnie générale des conduites d'eau, à Liége; Léon de Monge, administrateur de la même Compagnie; Aristide Dumont, ingénieur en chef des ponts et chaussées; Ernest de Laminne, administrateur de la banque de crédit général liégeois.

Les statuts donnent à l'assemblée générale le droit d'émettre des obligations pour une somme qui ne doit pas dépasser le capital social.

Ce fonds social peut d'ailleurs être augmenté par une délibération de l'assemblée générale prise dans la forme déterminée pour le cas de modifications aux statuts, c'est-à-dire quand les actionnaires présents possèdent, par eux ou leurs mandants, la moitié au moins du capital social.

Digitized by Google

La Société est administrée par un Conseil composé de cinq membres au moins, et de neuf au plus, nommés par l'Assemblée générale des actionnaires pour une durée de six années.

Le Conseil se renouvelle entièrement pendant ce laps de temps à raison de un ou deux membres chaque année.

Le Conseil d'administration se réunit au moins six fois par an : il fait toutes les opérations commerciales ou civiles qui ne lui sont pas interdites par la loi, sous les restrictions suivantes :

Il doit soumettre à l'approbation de l'assemblée générale tous les traités devant engager le capital social dans des entreprises nouvelles, comme aussi l'achat, la vente ou l'échange d'immeubles excédant 50,000 francs.

Le Conseil nomme un directeur, pris ou non parmi ses membres; il est chargé du service journalier de la Société dans les limites déterminées par le Conseil, exécute les résolutions de ce dernier et lui soumet toutes les propositions qu'exigent les intérêts de la Société.

L'assemblée générale annuelle, composée de tous les titulaires possédant dix actions au moins, désigne un ou plusieurs commissaires chargés de lui faire un rapport, l'année suivante, sur la Société, le bilan et les comptes présentés par les administrateurs pendant le trimestre qui précède l'époque fixée par les statuts pour la réunion de l'assemblée générale.

Nous avons dit comment la Société est administrée : le Conseil nomme un directeur qui a pour mission d'assurer la bonne marche de tous les services journaliers de la Société, les relations avec toutes les administrations municipales pour l'interprétation et l'application des cahiers des charges, la solution des difficultés de détail qui pourraient se présenter dans l'exécution du règlement de service des abonnés, etc.

Les principaux services groupés autour du directeur sont :

1° La comptabilité;

2° Le service financier;

3° Les abonnements;

4° Les travaux des deux catégories : immobilisations nouvelles et branchements pour abonnés;

5° Les magasins : approvisionnements et livraisons;

6° L'élévation de l'eau par les machines;

7° La distribution ou service des fontainiers.

Digitized by Google

Nous dirons quelques mots de ceux de ces services qui nous paraissent présenter des particularités intéressantes.

Service financier. — Le capital-action ayant été absorbé par les frais de premier établissement, il fallut dès 1869 recourir à l'emprunt pour assurer la marche de l'exploitation et pourvoir aux dépenses des canalisations nouvelles.

La Compagnie décida la création de 4,652 obligations remboursables à 300 francs en quarante ans et rapportant 10 francs d'intérêt annuel : elle devait les émettre au fur et à mesure de l'extension de son réseau.

En 1876, bien que l'émission de ce premier emprunt fut loin d'être terminée, il fut décidé qu'une nouvelle série d'obligations serait établie sous une forme plus avantageuse; en conséquence, on créa 2,000 obligations de 500 francs remboursables en cinquante ans et rapportant 30 francs d'intérêt annuel.

Cet emprunt fut fort apprécié du public de la banlieue qui souscrivit aussitôt un nombre suffisant de titres pour faire face aux besoins. L'émission continue aux guichets de la Compagnie toutes les fois que de nouveaux travaux sont décidés. En ce moment, la Compagnie a en circulation 1,476 obligations de l'emprunt 1869 et 1,460 obligations de celui 1876.

Abonnements. — Le service des abonnements se fait de trois manières différentes : par robinet libre, par robinet de jauge, par compteur. Le cahier des charges de la commune de Suresnes admet le robinet libre et le service à la jauge; un traité ultérieur a admis le compteur.

Dans les autres localités, le service se fait à la jauge ou au compteur.

Nous donnons aux annexes :

1° Les bases d'évaluation pour les abonnements à robinet libre de Suresnes (annexe A).

2° Le règlement des abonnés à la jauge (annexe B);

3° Le règlement spécial des abonnements au compteur (annexe C).

Travaux. — Un chef des travaux a sous sa surveillance quatre équipes de plombiers-poseurs qui font, selon les besoins, l'installa-

Digitized by Google

tion des distributions intérieures chez les particuliers, ou la pose des canalisations nouvelles sur la voie publique.

Tous les matins, les chefs d'équipe se réunissent au bureau où ils rendent compte de leurs travaux de la veille et reçoivent les instructions écrites nécessaires à l'exécution de leur tâche du jour.

Les marchandises leur sont livrées ou sont envoyées sur les points éloignés s'il y a lieu; l'exécution et l'entretien de la partie extérieure des branchements est un privilége de la Compagnie dans toutes les communes.

Les prix en ont été fixés, d'accord avec les administrations municipales (voir le tarif, annexe D). Le percement des conduites se fait en charge, au moyen de l'appareil décrit planche 102, fig. 9 et annexe H.

Les travaux de plomberie à l'intérieur des propriétés peuvent être confiés par l'abonné à un entrepreneur de son choix; mais en fait, la Compagnie en exécute plus des trois quarts.

Le montant des travaux faits pour les abonnés a été :

En 1874, de 87,516 fr. 66 c.
En 1875, de 103,871 fr. 82 c.
En 1876, de 125,510 fr. 48 c.

Il serait trop long et sans intérêt de reproduire le tarif des travaux intérieurs qui diffère notablement de celui des branchements proprement dits. Ces tarifs sont toujours communiqués d'avance aux abonnés et, pour éviter toute discussion ultérieure, on leur fait signer un bulletin d'acquiescement; de cette manière, le règlement du mémoire n'est plus qu'une vérification de métré.

La pl. 102, fig. 5, montre un dessin du robinet employé par la Compagnie à l'intérieur des propriétés.

Sa construction simple et pratique, son prix modéré, le font vivement apprécier par les abonnés qui le substituent souvent aux bouches d'arrosage, grâce au pas de vis qui permet d'y adapter le raccord d'un tuyau en caoutchouc.

Machines. — Le service d'élévation de l'eau comprend :

Un mécanicien, un second mécanicien pour la nuit et deux chauffeurs qui alternent.

Tous les matins, le premier mécanicien remet au bureau un rapport dont le type est reproduit (annexe E); ce rapport est contrôlé, ou

Digitized by Google

mieux appuyé par des diagrammes tracés automatiquement par un manomètre enregisteur, figuré pl. 102, fig. 7, qui indique les pressions aux réservoirs d'air et permet ainsi d'évaluer la durée et l'importance du travail utile des machines.

Tous les ans, pendant la saison d'hiver, profitant du ralentissement de la consommation, le personnel est employé à démonter successivement les machines et les pompes; à les visiter minutieusement, à les réparer s'il y a lieu, en un mot à les préparer à la campagne d'été.

Fontainiers. — Le service de distribution comprend : un chef fontainier ou inspecteur, et sept fontainiers, un pour chaque commune. Ces employés ont pour attributions de faire le service de ville, c'est-à-dire dans chaque localité, d'ouvrir pendant un temps déterminé, les bouches sous trottoirs pour le lavage des rues, d'assurer l'écoulement régulier de l'eau chez les particuliers, de recueillir les nouveaux abonnements, de faire toutes les recettes, de signaler les fuites ou toutes autres circonstances anormales de la distribution.

Dans ce but, ils se rendent tous les matins à la première heure au rapport, dans les bureaux de la Compagnie. Là, ils rendent compte des faits de service survenus dans leur commune et ils reçoivent les ordres du jour.

L'inspecteur va dans les diverses communes pour surveiller la stricte exécution de ces ordres.

SECONDE PARTIE

ENSEMBLE DES TRAVAUX.

Nous donnons, pl. 101, fig. 1, le plan général de l'usine hydraulique de Suresnes et de ses dépendances.

L'établissement est situé sur le quai de Seine, en face du barrage.

Un canal souterrain, de 140 mètres de longueur, prend les eaux en amont de l'écluse et les conduit dans un puisart placé dans la cour de l'usine.

Digitized by Google

Le bâtiment des pompes est isolé, au centre de la cour avec un appendice contenant les générateurs.

A droite, se trouvent les bureaux et l'habitation du directeur, les magasins, les ateliers de plomberie; à gauche, l'habitation du mécanicien, la fosse à charbon, l'écurie et la remise.

Un passage ouvert sur le quai, est destiné à l'entrée des charbons qui sont transportés par bateaux.

Enfin un large terrain, derrière l'habitation du mécanicien, reçoit les approvisionnements de tuyaux de fonte destinés aux canalisations.

Les machines, qui seront décrites plus loin, sont au nombre de deux, installées dans une salle de 10 mètres de largeur sur 13 mètres de longueur.

Les trois générateurs de vapeur sont dans une salle contiguë de 9 mètres sur 13 mètres 50.

Sur les deux réservoirs d'air comprimé, placés dans la salle des machines, prennent naissance deux conduites de refoulement qui, par une simple manœuvre des vannes distributrices, peuvent être mises en communication à volonté avec l'un ou l'autre des étages des réservoirs dont il va être parlé.

Ces deux réservoirs d'air comprimé sont imposés par la disposition générale du système qui comprend deux services ou étages :

Le premier que nous désignerons sous le nom de haut service, dessert les deux communes de Suresnes et de Rueil; il est commandé par le réservoir dit du Point de partage, ou simplement des Partages, et comprend en outre deux réservoirs secondaires : celui de Suresnes et celui de Rueil, lesquels reçoivent les eaux du premier par la pente naturelle.

Le second, que nous désignerons sous le nom de bas service, comprend la distribution de l'eau dans les communes d'Asnières, de Courbevoie, Nanterre, Colombes et Gennevilliers. Il est commandé par un réservoir à deux compartiments établi au rond-point des Bergères, dit réservoir des Bergères, et comprend en outre le réservoir particulier de Nanterre.

La capacité de ces différents réservoirs, ainsi que leurs cotes et leur hauteur au-dessus de l'étiage de la Seine, sont indiquées dans le tableau suivant :

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES RÉSERVOIRS.	CAPACITÉ.	HAUTEUR au-dessus de l'étiage.	COTE au-dessus du niveau de la mer.
	m3	m.	m.
Partage.....	496	68.44	91.94
Bergères.....	2668	48.00	71.50
Rueil.....	1512	43.10	66.60
Suresnes.....	235	46.60	70.10
Nanterre.....	1930	36.70	60.20
Total.....	6841		

Chaque réservoir est muni d'un flotteur qui fait manœuvrer un index le long d'une échelle graduée.

Un fil télégraphique met en communication les réservoirs principaux avec l'usine, ce qui permet de connaître à toute heure du jour le volume d'eau emmagasinée.

Le réservoir du rond-point des Bergères n'avait été construit, en 1867, que pour une contenance de 1,328 m3, mais il alimente à lui seul quatre communes et bientôt on reconnut la nécessité de l'agrandir.

En 1872, on construisit le nouveau bassin d'une contenance de 1,340 m3. Il est contigu à l'ancien et fait façade sur le rond-point. Ce compartiment, en y comprenant l'habitation du gardien qui y est annexée, à coûté 70,000 fr., savoir :

Achat du terrain.	6,000fr.	00
Fouilles, maçonnerie, revêtement.	45,000	00
Charpente.	1,200	00
Couverture.	1,800	00
Menuiserie.	1,800	00
Peinture.	800	00
Fonte, vannes, aménagements divers. . .	9,000	00
Architecte, projet, surveillance du chantier.	4,400	00
Total.	70,000	00

La pl. 102, fig. 2 représente l'ensemble des deux bassins des Bergères.

A côté du réservoir des Partages, on a installé, en 1876, une machine qui refoule jusqu'au sommet du Mont-Valérien un volume d'eau de 20 m3 à l'heure pour l'alimentation des divers services de la forteresse.

Ce réservoir de 496 m3 de capacité assure non-seulement la distribution dans le haut service, mais encore il permettrait de suppléer au

Digitized by Google

bas service en envoyant ses eaux directement dans les cinq communes de Nanterre, Courbevoie, Asnières, Colombes et Gennevilliers, si le réservoir des Bergères était insuffisant. Ceci se ferait au moyen d'une simple manœuvre de vanne, la conduite établie du réservoir des Partages à celui des Bergères pouvant indifféremment conduire les eaux du premier réservoir dans le second ou dans les conduites maîtresses de distribution.

Le réseau entier pourrait donc, à un moment donné, être alimenté uniquement par le réservoir du point de partage si c'était nécessaire.

La conduite de refoulement établie de l'usine au réservoir du point de partage a un diamètre de 0m.150 et une longueur de 1,506 mètres.

La colonne principale qui aboutit au réservoir du rond-point des Bergères a un diamètre de 0m.350 et une longueur de 2,208 mètres.

Tous les réservoirs sont reliés entre eux comme suit :

Du réservoir du point de partage partent trois conduites : l'une de 0m.150 de diamètre et de 2,892 mètres de longueur aboutit au réservoir spécial de Rueil ; l'autre de 0m.125 de diamètre et 800 mètres de longueur le met en communication avec le réservoir des Bergères ; enfin, on peut remplir le réservoir de Suresnes au moyen de la conduite même de refoulement sur laquelle est branchée, à 400 mètres de l'origine, une conduite de 0m.100 ayant 624 mètres de longueur.

Le réservoir des Bergères communique aux réservoirs de Nanterre et de Rueil, au moyen d'une conduite de 0m. 200, longue de 4,300 mètres.

Enfin les conduites de distribution proprement dites s'étendent aujourd'hui sur une longueur de 120 kilomètres. La conduite principale part du réservoir des Bergères avec un diamètre de 0m.350, parcourt l'avenue de Saint-Germain jusqu'au milieu de Courbevoie, où elle se bifurque en deux branches secondaires : l'une de 0m.200 se dirige sur Colombes, l'autre de 0m.250 sur Asnières et Gennevilliers.

Le tableau suivant donne une idée du développement annuel du réseau de distribution créé sur la demande des habitants qui apprécient tous les jours davantage ce mode d'alimentation et abandonnent unanimement les puits et les porteurs d'eau.

Au 31 décembre	1867	il y avait.	48,349m	00
—	1868	—	61,931	40
—	1869	—	72,427	80
—	1870	—	83,060	00

Digitized by Google

Au 31 décembre	1871	il y avait.	89,854	00
—	1872	—	96,082	00
—	1873	—	99,675	00
—	1874	—	105,128	00
—	1875	—	113,512	00
—	1876	—	118,063	00

L'extension moyenne annuelle a été d'environ 7,800 mètres.

Nous verrons plus loin que cette augmentation a produit un accroissement encore plus considérable dans le volume d'eau distribué, et partant dans les recettes de la Compagnie.

Le réseau de canalisation de la banlieue est, comme nous l'avons dit, exclusivement composé de tuyaux de fonte; ces tuyaux sont généralement joints à emboîtement et cordon.

Le tableau ci-dessous donne les prix moyens d'établissement des conduites suivant les diamètres :

DIAMÈTRE.	FONTE.			PLOMB cordes et charbon.	MAIN-D'ŒUVRE. Surveillance pour tranchées et pose.	TOTAUX.
	POIDS.	PRIX.	SOMMES.			
m.	kilogramm.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
0.060	15	0.30	4.50	0.40	1.25	6.15
0.100	27	0.30	8.10	0.60	1.50	10.20
0.150	40	0.28	11.20	0.80	2.00	14.00
0.250	60	0.25	15.00	1.00	2.50	18.50
0.350	120	0.22	26.40	1.60	3.10	31.10

Nous donnons, pl. 102, fig. 8, le dessin de la vanne d'arrêt employée à la Compagnie de la banlieue; la disposition en est simple : le joint longitudinal, cause presque inévitable de fuites, a été supprimé; l'ensemble forme un tout très-simple de forme, très-compact et très-fort, peu susceptible de dérangement et peu coûteux de construction.

La vanne de	0m,060	coûte.	65 fr.
—	0 ,100	—	95
—	0 ,150	—	150
—	0 ,200	—	200
—	0 ,350	—	450

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE

MACHINES.

Les machines élévatoires d'une force nominale de 60 chevaux chacune, ont été construites en Belgique par la Compagnie générale des conduites d'eau, sous la direction de M. Gustave de la Vallée Poussin.

Elles se composent chacune d'un cylindre vertical, monté sur le plan supérieur d'un bâtis tronc conique creux; le piston, par l'intermédiaire d'un balancier articulé suivant le système dit *parallélogramme d'Evans*, donne le mouvement aux pistons de deux pompes verticales de volume différent : l'une de $0^m.400$ de diamètre et $0^m.290$ de course, destinée au haut service; l'autre de $0^m.500$ de diamètre et $0^m.525$ de course destinée au bas service.

Ces pistons de pompe sont creux, de sorte que l'eau les traverse à chaque course; ils sont en quelque sorte eux-mêmes des corps de pompe mobiles, surmontés du clapet d'élévation (voir la coupe, pl. 102, fig. 6).

Ce système, d'une grande simplicité de construction et d'agencement, a en outre l'avantage de ne pas contrarier la marche directe des veines fluides, ce qui permet d'augmenter notablement les vitesses de marche.

Les réservoirs d'air comprimé sont alimentés d'air par de petites pompes spéciales dont le piston est articulé sur les bielles même des grandes pompes.

Le condenseur se trouve au centre du système; il est pourvu d'une pompe à air à double effet et de tous les accessoires ordinaires de cet organe.

La distribution de la vapeur dans les cylindres se fait par une détente du système Meyer.

Un robinet à trois eaux permet l'introduction de la vapeur dans le cylindre, quelle que soit la position du tiroir; cet organe est très-utile pour la mise en marche au point mort et pour réchauffer le cylindre et son enveloppe avant la mise en train.

Digitized by Google

La vapeur est fournie à chacune de ces machines par une chaudière dont le corps extérieur cylindrique a 2 mètres de diamètre et 8m.500 de longueur; les 21 tubes : 0m.150 de diamètre et 5 mètres de longueur (voir pl. 102, fig. 3).

Une troisième chaudière semblable permet d'alterner le service, même au cas où, pendant la saison d'été, les deux machines fonctionneraient simultanément.

Puissance des machines. — Rendement. — La puissance élévatoire des machines que nous venons de décrire a été établie par une série d'expériences faites avec le plus grand soin en 1872, au moment où la Compagnie voyant s'accroître dans une grande proportion le chiffre de ses abonnés, jugea utile d'avoir une étude d'ensemble sur le volume d'eau pouvant être élevé par les machines, et sur le programme général des travaux nouveaux à exécuter au fur et à mesure de l'accroissement de l'affaire.

Ces expériences consistaient à envoyer directement l'eau puisée par les pompes dans les réservoirs, ces derniers étant préalablement purgés avec soin, et aucune fuite ne se manifestant dans les conduites ni dans les réservoirs.

Les réservoirs avaient été préalablement mesurés et l'opération du refoulement de l'eau était suffisamment prolongée pour répartir l'erreur matérielle dans la mesure des capacités des réservoirs sur un grand nombre de révolutions du moteur.

Les chiffres résultant de ces expériences sont les suivants :

Expériences relatives au rendement des pompes.

DÉSIGNATION.	GROSSES POMPES.	
	N° 1.	N° 2.
Nombre de tours de la machine.....	1185	1097
Élévation du niveau de l'eau dans le réservoir en une heure.....	0m.34	0m.30
Hauteur moyenne de l'eau dans le réservoir.....	2m.75	2m.70
Pression dans le réservoir d'air.....	4at. 1/4	4at. 1/4
Surface du réservoir à la ligne d'eau.....	344m2.50	358m2.70

Digitized by Google

Volume d'eau fourni par la pompe n° 1 en 1185 coups de piston :

$$344{,}50 \times 0{,}34 = 117^{m3}.130$$

soit, par coup de piston : $\frac{117130}{1185} = 98$ litres.

Et comme le volume théorique est de 102 litres, le rendement se trouve être de 96 p. 100.

Pour la pompe n° 2, le volume fourni par 1,097 coups de piston est :

$$358{,}70 \times 0{,}30 = 107^{m3}.610$$

soit, par coup de piston : $\frac{107610}{1097} = 98$ litres.

Ce qui donne un rendement de $\frac{98}{102} = 0{,}96$ p. 100.

Les mêmes expériences, faites sur les petites pompes, conduisent aux résultats suivants :

DÉSIGNATION.	PETITES POMPES.	
	N° 1.	N° 2.
Nombre de tours de la machine.....	1263	1300
Élévation du niveau de l'eau dans le réservoir en une heure.....	0m.270	0m.265
Hauteur moyenne de l'eau dans le réservoir.....	2m.29	1m.460
Surface à la ligne d'eau.....	148m2.4	152m2.0
Pression dans le réservoir d'air.....	7at. 1/2	6at.

On déduit de là que :

Le volume d'eau fourni par 1,263 coups de piston de la pompe n° 1 est :

$$0{,}270 \times 148{,}4 = 40^{m3}.068$$

soit, par coup de piston : $\frac{40068}{1263} = 31.6$ litres

correspondant à un rendement de 0.85.

Pour la pompe n° 2, le volume d'eau fourni par 1,300 coups de piston est de :

$$0{,}265 \times 152 = 40^{m3}.280$$

soit par coup de piston : $\frac{40280}{1300} = 31$ litres,

correspondant à un rendement de 0,84.

Digitized by Google

L'infériorité de rendement trouvé pour les petites pompes tient à la pression énorme quelles supportent et sous l'influence de laquelle l'air contenu dans l'espace nuisible étant successivement comprimé et dilaté, empêche une certaine quantité d'eau de venir occuper la place prise par lui.

Quoi qu'il en soit, il résulte des expériences ci-dessus que, dans une révolution complète, chaque machine peut élever :

Par sa grosse pompe.	98.00 litres.
Par sa petite pompe.	31.60
Soit en tout. . .	129.60 litres.

Il reste donc à évaluer le nombre de tours que les machines peuvent effectuer dans l'unité de temps, et à multiplier ce nombre par le volume d'eau élevé pour connaître le pouvoir ascensionnel de chaque moteur.

Ce nombre de tours sera déterminé :

1° Par la vitesse du piston moteur;

2° Par la vitesse de l'eau dans les tuyaux.

La course du piston étant de $1^m.100$, la vitesse de 30 tours par minute, soit $1^m.100$ par seconde, serait très-modérée, et le volume d'eau élevé en vingt-quatre heures par chaque machine serait dès lors de :

$$129 \times 30 \times 60 \times 24 = 5{,}572 \text{ mètres cubes.}$$

Mais pour cela il faudrait que les conduites de refoulement aient un diamètre tel que la perte de charge due à la vitesse de l'eau ne vienne pas aggraver outre mesure le travail des pompes.

Or, nous l'avons dit, la conduite de refoulement dans le réservoir des Partages a un diamètre de $0^m.150$ et une longueur de 1,506 mètres.

Celle du réservoir des Bergères a $0^m.350$ de diamètre et 2,208 mètres de longueur.

Quand la petite pompe refoulera sur le premier réservoir et la grosse pompe sur l'autre, nous aurons les résultats suivants selon le nombre de tours :

Digitized by Google

La machine faisant 30 TOURS.	La grosse pompe refoulant aux BERGÈRES.	La petite pompe refoulant aux PARTAGES.
Volumes par 24 heures..	4233m	1369m
Vitesses par seconde....	0m.50	0m.88
Pertes de charge totales.	2m.42	11m.25
La machine faisant 25 TOURS.	**La grosse pompe refoulant aux BERGÈRES.**	**La petite pompe refoulant aux PARTAGES.**
Volumes par 24 heures..	3528m	1116m
Vitesse par seconde.....	0m.42	0m.72
Pertes de charge totales.	1m.73	7m.50

Il suit de là que les machines pourraient aisément atteindre et même dépasser 30 tours pour refouler dans la grosse conduite, mais que les pertes de charge dans la petite conduite conseillent de limiter la vitesse au maximun de 25 tours.

Aussi la Compagnie est-elle décidée à modifier cet état de choses, et à remplacer la conduite insuffisante de 0m.150 par une conduite de 0m.200, de telle sorte qu'on pourra atteindre 42 tours par minute sans dépasser notablement la vitesse de 0m.70 dans les deux conduites.

Dans ce cas, le tableau précédent devrait être modifié comme suit :

La machine faisant 42 TOURS.	La grosse pompe refoulant aux BERGÈRES.	La petite pompe refoulant aux PARTAGES.
Volumes par 24 heures..	5927m	1911m
Vitesses par seconde....	0m.72	0m.70
Pertes de charge totales.	5m.30	5m.48

On pourra donc, par ce changement, augmenter le volume d'eau total fourni par chaque machine de :

$$(3{,}528 + 1{,}116) = 4{,}644^{ms} \text{ à } (5{,}927 + 1{,}911) = 7{,}838^{ms}$$

c'est-à-dire, près de 70 p. 100 du rendement actuel, et cependant la vitesse du piston moteur ne serait encore que de 1m.540, vitesse très-admissible.

Dans cette hypothèse, les deux machines fourniraient ensemble 15,676 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures, ce qui repré-

Digitized by Google

senterait 100 litres par habitant, pour une population de plus de 150,000 habitants, et 370 litres par habitant pour la population actuelle.

L'établissement est donc, dès à présent, organisé de façon à prévoir largement l'avenir.

L'examen des chiffres suivants ne sera pas sans un réel intérêt de comparaison sur ce point.

Tableau des volumes d'eau attribués par habitant et par jour dans les principales villes.

DÉSIGNATION DES VILLES.	Quantité d'eau par tête et par jour.	DÉSIGNATION DES VILLES.	Quantité d'eau par tête et par jour.
	litres.		litres.
Béziers	14	Lyon	100
Metz	25	Madrid	100
Le Havre	40	Hambourg	125
Clermont	50	Londres	135
Édimbourg	50	Philadelphie	140
Nantes	60	Bordeaux	170
Toulouse	65	Lille	176
Genève	74	New-York	200
Bruxelles	80	Paris	200
Marseille	85	Besançon	240
Narbonne	85	Nimes	250

QUATRIÈME PARTIE

RENSEIGNEMENTS DIVERS.

Avant de donner quelques chiffres relatifs aux résultats de l'exploitation, nous croyons qu'il ne sera pas inutile de parler du mode de distribution introduit courageusement par la Compagnie des eaux de la banlieue, et qui rencontre encore tant de préventions au sein de la plupart des autres Compagnies d'eaux : nous voulons parler de la distribution par compteurs.

Digitized by Google

Nous n'entendons pas passer en revue les différents systèmes de distribution ni en énumérer les inconvénients divers; nous dirons seulement quelques mots de ceux qui ont survécu :

La *Fistula* des Romains, qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours dans quelques concessions anciennes, serait parfaite au point de vue de l'exactitude rigoureuse, mais, outre que, pour maintenir le niveau constant de la cassette régulatrice, il faut perdre et une certaine charge et une notable quantité d'eau par le trop-plein, elle a l'inconvénient plus sérieux de transformer une concession d'eau (nécessaire aux plus humbles ménages) en un luxe princier. Les frais énormes qu'il faut faire pour aller se brancher directement aux rares *castelli* établis dans la ville en défendent l'abord aux modestes fortunes.

Le *système discontinu*, employé surtout en Angleterre, et qui consistait surtout à remplir les réservoirs des abonnés à certaines heures de la journée et à tenir les conduites sous clef pendant le reste du temps n'est plus soutenu par personne.

La *jauge* elle-même, à laquelle on a dû s'arrêter longtemps faute de mieux, donne lieu à des réclamations incessantes : les variations de la charge amènent dans le débit des variations analogues, qui sont la source inépuisable de contestations entre l'abonné et l'entreprise; elle nécessite l'établissement d'un réservoir volumineux, d'une série de tuyaux d'amenée, de trop plein, de retour, etc.

La distribution à *robinet libre*, sur laquelle se rejettent les praticiens, est éminemment commode, nous en convenons; mais qui ne voit que dans ce système l'équité est profondément blessée? car, ou la Compagnie pour se prémunir contre les abus prendra des bases d'évaluation trop élevées, et alors l'abonné paiera une somme trop lourde, ou bien ce sera le contraire, et l'exploitation deviendra onéreuse pour l'entreprise.

Le *compteur d'eau*, au contraire, est préconisé, en théorie, par ceux-là mêmes qui le combattent sur le terrain de la pratique et qui se bornent à lui reprocher de ne pas être mathématiquement exact.

Et pour ne pas adopter un compteur auquel on oppose de n'être qu'approximatif, certaines entreprises préfèrent concéder l'eau à robinet libre, à discrétion, c'est-à-dire se livrer pieds et poings liés à leurs abonnés!

Nous pensons qu'il suffit d'exposer un pareil système pour le condamner.

Digitized by Google

Le *compteur Siemens*, construit en Angleterre par MM. Guest et Chrimes, n'a pas la prétention d'être d'une exactitude mathématique, mais il enregistre les volumes consommés à moins de 3 p. 100 près.

Nous ne croyons pas que pour de l'eau vendue entre 25 et 50 centimes les 1000 litres, on ait besoin d'une plus grande approximation.

On lui reproche aussi de livrer de l'eau, même quand il cesse de fonctionner régulièrement, et d'être ainsi une cause de perte pour la Compagnie; nous sommes convaincus, qu'à cet égard encore, il soutiendrait victorieusement la comparaison avec le robinet de jauge, qui livre *toujours* plus d'eau que l'abonné n'en paye.

Un service d'inspection est nécessaire, dans un cas comme dans l'autre, pour prévenir tout abus.

Pour l'abonné, le compteur d'eau a de nombreux avantages : peu volumineux, facile à loger partout, il supprime la nécessité d'établir un réservoir coûteux et gênant; il permet de puiser directement, à toute heure du jour et de la nuit, aux réservoirs de la Compagnie; il permet de jouir pour l'arrosage de la pression intégrale du réseau, au lieu de l'avoir interrompue par un réservoir particulier dans lequel l'eau séjourne, se gèle en hiver ou s'échauffe en été.

Nous croyons qu'une administration vigilante a le devoir de chercher et de répandre tout procédé avantageux à ses clients, elle trouve alors son propre avantage dans le développement des affaires.

Dans le cas spécial qui nous occupe, nous sommes convaincus que l'adoption de ce mode de distribution n'a pas été pour peu dans la rapide diffusion des abonnements à la banlieue.

Voici d'ailleurs des chiffres qui montrent combien le système y est apprécié :

Au 31 décembre	1872	sur 1423	abonnés,	325 ou 23 °/₀	avaient un compteur.
—	1873	1603	—	525 ou 32 °/₀	—
—	1874	1818	—	750 ou 41 °/₀	—
—	1875	2057	—	1005 ou 49 °/₀	—
—	1876	2334	—	1270 ou 54 °/₀	—

Les recettes supplémentaires, c'est-à-dire les prix de l'eau vendue en plus des abonnements annuels, dépassèrent 30,000 fr. en 1876, résultat dû exclusivement à l'admission du compteur comme intermédiaire entre la Compagnie et les abonnés.

Si, après ce que nous avons dit, il était besoin d'autres preuves pour démontrer que les compteurs Siemens répondent à un réel besoin,

Digitized by Google

nous dirions qu'en avril 1867 il y en avait 17,000 en usage et que dix ans plus tard, en avril 1877, il y en a 72,000, soit 55,000 compteurs employés en dix ans!

A Bruxelles sur 17.976 abonnés, 9.571 sont desservis par compteur.
A Liége — 2.400 — 2.200 —

La ville de Lille, par règlement du 3 mars 1869, rendait obligatoire la distribution par compteur pour tous les usages autres que ceux exclusivement domestiques.

Le choix du système de compteur est laissé à l'abonné, mais il devra être approuvé par l'administration.

Nous donnons à l'annexe F une description sommaire du compteur Siemens que l'on peut voir en coupe et en plan (pl. 102, fig. 4).

Quantité d'eau élevée par l'usine de Suresnes. — La quantité d'eau élevée par l'Usine de Suresnes était de 695,561 mètres cubes pendant l'année 1869.

En 1870 et 1871, le service ayant été troublé par les événements, les chiffres ne nous donneraient aucune indication utile.

En 1872	le volume d'eau élevé est de. . .	870.000	mètres cubes.
1873	—	950.000	—
1874	—	1035.000	—
1875	—	1070.000	—
1876	—	1285.000	—

Mais les volumes nécessaires varient considérablement selon la saison : pendant les six mois d'hiver on n'élève que les 0,34, 0,35, 0,36 et 0,37 de la quantité annuelle, contre 0,66, 0,65, 0,64 et 0,63 pour les six mois d'été.

Prix moyen de l'eau élevée. — Le prix moyen de l'eau élevée a été pendant les divers exercices, savoir :

En 1869.	0f .0296	par	mètre cube.
1872.	0 .0300		—
1873.	0 .0380		—
1874.	0 .0360		—
1875.	0 .0300		—
1876.	0 .0269		—

Ces prix du mètre cube d'eau élevée ne comprennent que les frais

Digitized by Google

directs, c'est-à-dire les salaires des mécaniciens et chauffeurs, et les consommations en charbons, huiles, etc., sans aucune part de frais généraux ni d'intérêt de capital.

Le prix moyen, comprenant tous les éléments précédents a été le suivant :

En 1874.	0f .140
1875.	0 .125
1876.	0 .112

Appareils de distribution. — Les appareils de distribution pour *service public* sont les bouches sous trottoirs et les bornes-fontaines.

Ils sont répartis dans les diverses communes comme suit :

1° Bouches sous trottoir :

Commune d'Asnières.	49
— de Colombes.	28
— de Courbevoie.	45
— de Suresnes.	21
— de Gennevilliers.	12
— de Nanterre.	27
— de Rueil.	75
Total.	257 bouches.

2° Bornes-fontaines :

Commune d'Asnières.	1
— de Colombes.	4
— de Courbevoie.	3
— de Gennevilliers.	»
— de Nanterre.	1
— de Rueil.	2
— de Suresnes.	3
Total. . . .	14

L'on ne doit pas être surpris de ce petit nombre de bornes-fontaines desservant une population de plus de 40,000 habitants, si l'on songe que lors des contrats de concession, la Compagnie demanda aux administrations communales de s'interdire formellement la vente ou la cession gratuite d'aucune partie de l'eau qui leur serait fournie par elle.

En effet, au moment où elle basait une affaire sur les produits de

Digitized by Google

la vente de l'eau, elle ne pouvait admettre l'éventualité d'une distribution gratuite qui viendrait lui faire concurrence à tous les coins de rue.

Aussi, n'est-ce que successivement et contre des avantages nouveaux que la Compagnie a consenti l'établissement d'un petit nombre de bornes-fontaines à l'usage du public.

Les bornes-fontaines de Courbevoie, Rueil et Suresnes sont du modèle ordinaire à repoussoir, et l'eau débitée est appréciée au moyen d'un compteur.

Celles d'Asnières, Colombes et Nanterre sont d'un système particulier qui permet le service à la jauge et que nous croyons peu connu.

Il nous a paru intéressant d'en donner la description à l'annexe G et une coupe (planche 101, fig. 3).

En outre du lavage journalier des caniveaux, au moyen de l'eau que débitent les bouches sous trottoir, la plupart des communes ont, en été, un service d'arrosage par tonneaux.

Asnières a consommé 1,662 mètres cubes pour ce service en 1876.

Courbevoie en a consommé 1,448 mètres cubes.

Rueil arrose à la lance l'Avenue du Chemin de fer; la ville paye de ce chef un prix d'abonnement annuel fixé à forfait et comprenant l'amortissement des bouches.

Débit des conduites. — Le débit des conduites, comme il est naturel de le penser, est loin d'être régulier pendant toutes les heures de la journée. Le travail des machines étant, au contraire, à peu près constant, c'est du rapprochement de ces circonstances que naît la nécessité des réservoirs.

A la fin de juillet 1876, une série d'expériences fut entreprise dans le but de préciser ces variations; la moyenne de douze jours d'observations a donné les chiffres suivants pour la proportion relative des débits aux différentes heures d'une journée d'été.

Digitized by Google

Proportion relative des débits aux différentes heures d'une journée d'été.

HEURES.	PROPORTION RELATIVE DES DÉBITS.	OBSERVATIONS.
De 6h à 7h matin.....	3.12 %	La consommation augmente de 6 heures du matin à 10 heures.
7 à 8 —	4.68	
8 à 9 —	5.72	
9 à 10 —	6.03	
10 à 11 —	5.51	A 10 heures du matin la consommation atteint son maximum.
11 à midi.....	5.00	
De midi à 1h soir.....	4.68	La consommation décroît de 10 heures du matin à 4 heures du soir.
1h à 2 —	4.37	
2 à 3 —	4.26	
3 à 4 —	4.16	
4 à 5 —	4.37	La consommation augmente de 4 heures du soir à 8 heures.
5 à 6 —	4.58	
6 à 7 —	4.68	
7 à 8 —	4.79	
8 à 9 —	4.68	La consommation décroît constamment à partir de 8 heures du soir jusqu'à 2 heures du matin.
9 à 10 —	4.16	
10 à 11 —	3.75	
11 à minuit.....	3.33	
De minuit à 1h matin.....	3.43	
1h à 2 —	2.92	La consommation reste stationnaire depuis 2 heures du matin jusqu'à 6 heures.
2 à 3 —	2.92	
3 à 4 —	2.92	
4 à 5 —	2.92	
5 à 6 —	3.02	

La consommation, de 9 heures à 10 heures du matin, est donc presque double de celle qui a lieu après minuit, où il n'y a que les réservoirs jaugés qui reçoivent leur filet d'eau.

Progression des recettes annuelles. — Les recettes annuelles, garanties par des polices d'abonnement, ont suivi la progression suivante :

ANNÉES D'EXPLOITATION.	NOMBRE DES POLICES.	PRODUIT DES POLICES.
1868	625	61,800 fr.
1869	1026	96,349
1872	1423	113,400
1873	1603	122,200
1874	1818	132,749
1875	2057	149,204
1876	2334	168,059

Digitized by Google

A ces chiffres, il faut ajouter les recettes municipales représentant une consommation journalière de plus de 600 mètres cubes, les ventes temporaires d'eau en dehors des abonnements, les recettes diverses, les suppléments au compteur et les bénéfices sur branchements.

Au total, les recettes de la Compagnie se sont successivement élevées jusqu'à atteindre 236,530 fr. 11 c., en 1876, au lieu de 111,997 fr. 50 c., chiffre de 1869; soit, en sept années d'exploitation, un accroissement de 110 p. 100, alors que la longueur du réseau, qui était à cette époque de 72,127 mètres, est aujourd'hui de 118,590 mètres, et n'a augmenté que de 64 p. 100 dans le même temps.

Taux moyen des abonnements annuels. — Le montant de chaque abonnement était en :

L'année 1869 de.	93f	60	par abonné.
— 1870 de.	90	00	—
— 1871 de.	86	00	—
— 1872 de.	79	50	—
— 1873 de.	76	00	—
— 1874 de.	73	20	—
— 1875 de.	72	20	—
— 1876 de.	72	00	—

Il y a une *diminution constante* de la moyenne, ce qui indique que les nouveaux consommateurs prennent généralement de petites quantités; mais cette circonstance ne peut qu'être favorable aux intérêts de l'entreprise, puisque les tarifs de vente de l'eau sont bien plus élevés pour les petits abonnés.

En effet, le prix du mètre cube ressort :

Pour un abonnement journalier de	125	litres à	0f .542
—	250	—	0 .432
—	500	—	0 .328
—	1000	—	0 .274
—	2000	—	0 .220
—	5000	—	0 .186
—	10000	—	0 .166
—	50000	—	0 .152

La moyenne par abonné varie d'ailleurs selon les communes, ainsi que le montre le tableau suivant, dressé à la fin de 1876.

Digitized by Google

Taux moyen des abonnements par personne et par commune en 1876.

NOM DES COMMUNES.	NOMBRE DES ABONNÉS dans chaque commune.	PRODUIT des abonnements.	MOYENNE de l'abonnement.
Asnières.....	485	30.700 fr.	63f 40
Colombes.....	474	27.920	59 00
Courbevoie.....	411	30.095	73 00
Gennevilliers.....	34	4.890	144 00
Nanterre.....	204	17.094	84 00
Rueil.....	406	27.530	67 50
Suresnes.....	320	29.830	93 00
Totaux.....	2334	168.059	72 00

Densité des branchements. — Une circonstance qui fait ressortir clairement combien les affaires d'eau, dont les débuts sont presque toujours difficiles, finissent par s'imposer lorsqu'une fois elles sont établies au milieu d'un centre populeux, c'est ce que nous appellerons la *densité* des branchements sur le réseau.

En 1869	la Compagnie avait 1 abonné par	99m	canalisés.
1871	—	77	—
1872	—	67	—
1873	—	62	—
1874	—	58	—
1875	—	55	—
1876	—	46	—

Ce chiffre de 1 *abonné par* 46 *mètres* canalisés, pris sur l'ensemble du réseau, varie d'une commune à l'autre :

Il est à :	Asnières	de 1 abonné par	42m.00
—	Colombes	—	39 .50
—	Courbevoie	—	42 .50
—	Gennevillers	—	135 .00
—	Nanterre	—	72 .50
—	Rueil	—	46 .50
—	Suresnes	—	42 .50

Des différences analogues existent dans la même commune entre les différentes rues; certaines rues de Colombes et de Courbevoie ont un abonné par 18 et 20 mètres de canalisation; on voit donc que malgré le développement rapide des dernières années, l'entreprise a encore

Digitized by Google

devant elle un bel avenir avant d'avoir atteint sur tout son réseau la densité maxima des abonnements.

Résumé général. — Nous résumons en un tableau final les divers renseignements arrêtés au 31 décembre 1876.

Tableau général résumant les données de l'exploitation.

COMMUNES.	NOMBRE D'HABITANTS.	ABONNEMENTS.		LONGUEURS CANALISÉES.
		NOMBRES.	SOMMES.	
			fr.	m.
Asnières.....	8.278	485	30.700	20,395
Colombes.....	5.226	474	27.920	18,740
Courbevoie....	11.546	411	30.095	17,540
Gennevilliers...	2.389	34	4.890	4,595
Nanterre.....	4.269	204	17.094	14,810
Rueil.....	7.059	406	27.530	18,900
Suresnes.....	6.149	320	29.830	13,610
Total.....	44.916	2334	168.059	108,590

Digitized by Google

ANNEXES

Annexe A. — Bases d'évaluation pour les abonnements dits à robinet libre.

Les bases de la consommation présumée sont celles-ci :

Par personne habitant la maison et par jour.	20 litres.
Par cheval.	75
Par voiture suspendue à quatre roues.	75
Par mètre carré de jardin en culture, gazon et terre cultivée.	1
Par voiture suspendue à deux roues.	40

Les abonnements ne pourront jamais être inférieurs à la quantité de 250 litres, et ils sont inapplicables aux consommations industrielles.

Le prix de l'abonnement est fixé à :

100 francs	pour la fourniture journalière	de. . . .	1.000 litres.
60	—	de. . . .	500
40	—	de. . . .	250

Annexe B. — Règlement pour les abonnements dits à la jauge.

Article premier. — Les abonnements partent des 1er janvier et 1er juillet de chaque année. — La durée des abonnements sera de trois années au moins. — Le prix en est exigible par anticipation et par moitié dans les premières quinzaines de janvier et de juillet de chaque année. — A défaut de paiement, sur une simple mise en demeure par lettre émanant de l'administration, la fourniture de l'eau pourra être suspendue et l'abonnement résilié, sans préjudice des droits et actions à exercer par la Compagnie contre l'abonné en retard. — La Compagnie a le droit de faire vérifier en tout temps la quantité d'eau employée par chaque abonné.

Art. 2. — Le mode de délivrance des eaux par écoulement déterminé, constant, intermittent, régulier ou irrégulier, sera réglé par un robinet de jauge dont les agents de la Compagnie auront seuls la clef. — Les eaux

Digitized by Google

seront reçues dans un réservoir dont la hauteur sera indiquée par les agents de la Compagnie, et déversées par un robinet flotteur. Le branchement amenant l'eau au réservoir sera vierge de tout embranchement sur son parcours.

ART. 3. — Les abonnés ne pourront renoncer à leur abonnement qu'en avertissant la Compagnie par lettre adressée au Directeur trois mois avant l'expiration de leur police. — Le Directeur accusera réception. — Quelle que soit l'époque de l'avertissement, le prix de l'abonnement sera exigible jusqu'à expiration. Si l'avertissement ci-dessus n'a pas été donné en temps utile, il y aura tacite reconduction pour l'année suivante, et ainsi d'année en année aussi longtemps que la résiliation n'en sera pas faite et acceptée. — La Compagnie se réserve le droit de résiliation dans les mêmes conditions.

ART. 4. — L'abonnement ne sera pas résilié par le seul fait de la mutation de la propriété ou de l'établissement dans lequel les eaux sont fournies. L'abonné ou ses héritiers ou ayants cause seront responsables du prix de l'abonnement jusqu'à ce qu'ils aient accompli la formalité exigée par l'article 3, sans préjudice de recours contre le successeur qui aura joui des eaux.

ART. 5. — Les abonnés ne pourront réclamer aucune indemnité pour les interruptions momentanées du service résultant des cas de force majeure. — En dehors de ces cas, l'interruption de service ne dépassant pas dix jours ne donnera lieu à aucune indemnité. Ce délai passé, il sera fait compte, en déduction du prix de l'abonnement, de tout le temps d'interruption du service. — Dans le cas d'arrêt d'eau, l'abonné doit prévenir immédiatement la Compagnie par lettre adressée au Directeur, rue Pagès, à Suresnes.

ART. 6. — Chaque abonné devra avoir un branchement avec prise d'eau distincte sur la voie publique. — Il ne pourra conduire tout ou partie de l'eau à laquelle il a droit, en dehors des limites stipulées dans la concession.

ART. 7. — A l'origine de chaque branchement il sera placé sous la voie publique un robinet de jauge et d'arrêt sous bouche à clef, dont les agents de la Compagnie auront seuls la clef. — Les abonnés pourront faire placer à l'intérieur de leurs habitations un second robinet, à la condition que la clef dont ils feront usage sera différente de celle de la Compagnie. — Il est interdit aux abonnés, sous peine de poursuites judiciaires, de faire usage des clefs de la Compagnie, ou même de les conserver en dépôt.

ART. 8. — Les travaux d'embranchement sur la conduite publique, jusqu'au parement intérieur de la clôture sur rue, seront exécutés aux frais de l'abonné par les ouvriers de la Compagnie, et suivant le tarif qui leur sera communiqué. — L'eau sera livrée aussitôt que le mémoire des travaux à la charge de l'abonné aura été soldé. — Quant aux travaux intérieurs ils pourront être exécutés par tout entrepreneur, au choix de l'abonné, mais sous la surveillance de la Compagnie, qui aura droit de voir

Digitized by Google

si ses intérêts sont garantis. — Celle-ci néanmoins les exécute à des prix réduits.

ART. 9. — Les abonnés ne pourront s'opposer aux travaux d'entretien et de réparation des tuyaux et robinets établis pour le service de leur abonnement. — Tous changements et toutes modifications qui devraient être apportés aux embranchements sur la voie publique et dans les propriétés particulières par suite des travaux qu'auraient à exécuter la commune, le département ou l'État, pour ouverture, abaissement ou exhaussement des rues, nivellement de chemin ou routes, etc., seront à la charge des abonnés.

ART. 10. — Les abonnés seront exclusivement responsables envers les tiers de tous les dommages auxquels l'établissement ou l'existence de leur conduite pourrait donner lieu.

ART. 11. — Lors de la mise en jouissance de chaque abonné, il sera dressé, contradictoirement entre l'abonné et la Compagnie, un état de lieu indiquant la nature, la disposition et le diamètre des conduites, ainsi que le nombre et l'emplacement des robinets et orifices d'écoulement. — Le même état fait connaître l'origine et la position de l'embranchement extérieur. — L'abonné ne pourra rien changer aux dispositions primitivement arrêtées, à moins d'en avoir préalablement obtenu l'autorisation de la Compagnie.

ART. 12. — Il est formellement interdit à tout abonné de laisser embrancher sur sa conduite, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur aucune prise d'eau au profit d'un tiers. — Il lui est également interdit de disposer gratuitement ou à prix d'argent, ou à quelque titre que ce soit, en faveur d'un tiers, de la totalité ou d'une partie des eaux qui lui sont fournies, ni même du trop plein de son réservoir. — Il ne pourra également augmenter à son profit le volume d'eau de son abonnement. — Toute contravention aux dispositions du présent article sera constatée par procès-verbal et donnera lieu à des dommages-intérêts.

ART. 13. — A la fin de l'abonnement, les robinets d'arrêt et de jauge, faits sur le modèle de la Compagnie, seront rendus à l'abonné après que la Compagnie aura changé la tête de ces robinets; il en sera de même en cas de remplacement d'un de ces robinets.

ART. 14. Les prix pour les abonnements particuliers sont établis comme suit :

Pour la fourniture journalière d'un mètre cube, soit	1,000l,	100 fr.	par an.
— —	500l,	60	—
— —	250l,	40	—
— —	125l,	25	—

Les abonnements de 250 litres et de 125 litres pourront ne pas être servis en eau coulante. — Les abonnés pour un volume de 500 litres au moins auront le droit de demander à recevoir du 1er avril au 30 septembre, le volume d'eau qui leur est dû pour une année entière. — Dans ce cas, ils se soumettront à une interruption complète du service à leur égard pen-

Digitized by Google

dant les six autres mois, comme étant ceux pour lesquels ils renoncent à être alimentés. — Cet abonnement particulier, désigné sous la dénomination d'*abonnement intermittent*, devra être expressément demandé au moment de la souscription et se paye également par anticipation aux époques indiquées à l'article 1er. — Les abonnements intermittents ne seront pas exclusifs des abonnements permanents et réciproquement.

En ce qui concerne les abonnements pour plusieurs mètres cubes, ils seront fixés comme suit :

Premier mètre cube.		100 francs.
Deuxième	—	60
Troisième	—	60
Quatrième	—	60
Cinquième	—	60

Les mètres cubes suivants subiront une réduction de 10 p. 100 sur le prix de 60 francs.

ART. 15. — La distribution d'eau pratiquée dans l'intérieur des propriétés particulières sera constamment soumise, pendant le jour, à l'inspection des agents de la Compagnie, sous peine de fermeture de la concession.

ART. 16. — Il est interdit aux abonnés et à tous les ayants droit de rémunérer, sous quelque prétexte et sous quelque dénomination que ce puisse être, aucun agent de l'administration.

ART. 17. — Les frais de timbre et d'enregistrement des polices d'abonnement, et les timbres de quittance seront supportés par les abonnés, ainsi que les contributions nouvelles qui viendraient à frapper le service d'exploitation des eaux.

ART. 18. — Les contraventions au présent règlement seront constatées par des procès-verbaux dressés par les agents de la Compagnie, dûment assermentés, et poursuivies conformément à la loi.

ART. 19. — Pour l'exécution de la présente, l'abonné fait élection de domile au siége même de son branchement.

ANNEXE C. — Règlement des abonnements au compteur.

ARTICLE PREMIER. — La quantité d'eau souscrite par l'abonné lui sera fournie par compteur, au tarif de la jauge, d'une manière permanente ou intermittente.

ART. 2. — Les concessions au compteur partent toutes du 1er janvier de chaque année. Le prix de l'abonnement sera exigible pour toute l'année, quelle que soit l'époque de la mise en jouissance, sauf à tenir compte à l'abonné de tout trimestre *entièrement écoulé* au moment de la concession.

ART. 3. — La redevance annuelle se payera par anticipation et par moitié du 1er au 15 janvier et du 1er au 15 juillet.

Digitized by Google

ART. 4. — Il sera facultatif de s'abonner, par jour, pour telle quantité de litres qu'on désignera; la somme garantie annuellement sera toujours exigible, quelle que soit la consommation.

ART. 5. — L'abonnement annuel ne pourra être inférieur à 500 litres par jour, représentant par année 184 mètres cubes, à répartir trimestriellement au choix de l'abonné, par quantité *à déterminer d'avance* dans la police.

ART. 6. — Lorsque la quantité consommée chaque trimestre excédera celle désignée dans la police, l'abonné sera tenu de payer le surplus immédiatement au prix fixé pour le mètre cube supplémentaire, sans que pourtant la quantité non consommée puisse être reportée sur le trimestre suivant.

ART. 7. — Le débit du compteur sera relevé chaque mois et inscrit sur un livret déposé chez l'abonné. Lorsqu'il sera constaté que, par accident ou pour toute autre cause, le compteur n'indique plus exactement le volume d'eau qui le traverse, la consommation sera évaluée d'après la moyenne des six dernières inscriptions du livret.

ART. 8. — Les compteurs seront fournis et posés par la Compagnie et aux prix suivants :

De 10 m/m d'ouverture	y compris robinet d'arrêt, pose et cloche en fonte pour couvrir le compteur.	100 francs.
12 —		125 —
20 —		160 —
25 —		200 —
30 —		260 —
40 —		310 —

Ils sont garantis pour un an, sauf contre les accidents, dérangements ou bris provenant de la gelée ou du fait de l'abonné, dont celui-ci aura à supporter les frais de réparation.

ART. 9. — Les compteurs seront placés aux endroits à désigner par les agents de la Compagnie. — Les prix des travaux de branchement extérieur seront appliqués *jusques et y compris* le compteur.

ART. 10. — La Compagnie se réserve la faculté d'imposer d'avance le dépôt d'une somme représentant le montant du branchement et du compteur; mais, en tous cas, ce montant pourra être exigible aussitôt les travaux terminés, et *avant la mise* en jouissance de l'eau.

ART. 11. — Toutes autres conditions des polices à la jauge sont applicables à ce règlement; l'abonné, en signant la police au compteur, déclare accepter toutes les clauses ci-dessus.

ART. 12. — Toutes contributions nouvelles qui viendraient frapper le service de l'Exploitation des Eaux seront supportées proportionnellement par les abonnés.

Digitized by Google

Annexe D. — Tarif des travaux d'installation des branchements au compte des abonnés à l'extérieur des propriétés.

Prise en charge, collier à lunette, etc., ouvrage complet.	9 »
Appareil de jauge de 27, en cuivre, sous bouche à clef, fourniture et pose.	70 »
Appareil de jauge de 20, en cuivre, sous bouche à clef, fourniture et pose.	50 »
Tuyau d'embranchement en plomb de 27/7 (le mètre linéaire).	9 »
— 27/6 —	7 »
— 20/5 —	5 »
Tranchée sur voie publique, compris pavage (non compris bitume), le mètre linéaire.	2 »
Dallage en bitume comprimé (compris fourniture), le mètre superficiel.	8 »
Nœuds de soudure de 27.	3 75
— 20.	2 50
Tamponnage au marteau.	» 30
Tamponnage soudé de 27.	1 85
— 20.	1 25
Dépose de conduite en plomb (le mètre linéaire).	» 50
Repose — —	1 »
Rondelle en cuivre pour robinet de 27.	» 85
— 20.	» 60
Clavette double en cuivre.	» 30
Tampon de bouche à clef avec ou sans chaîne.	1 75
Relèvement de bouche à clef (non compris tranchée). . .	4 »
Percement de mur en pierre tendre de $0^m.200$ à $0^m.500$. .	4 »
— au-dessus de $0^m.500$ (par décimètre). .	1 »
— en pierre dure (par décimètre).	1 50
Entaille de mur (le mètre linéaire).	1 70
Robinet de jauge de 27 en cuivre.	45 »
— 20.	25 »
Bouche à clef double (compris pose).	25 »
— simple —	15 »
Robinet d'arrêt à chapeau de 27.	20 »
— 20.	15 »

Ces prix sont invariables et ne sont sujets à aucun règlement par architecte.

Digitized by Google

Annexe E. — Rapport du Mécanicien.

Journée du ———————————— 187

PERSONNEL. { MÉCANICIEN..... Heures.
Id..... Id.
CHAUFFEUR..... Id.
Id..... Id.

MARCHE DES MACHINES.

DÉSIGNATION.	Index du compteur de tours. En commençant.	Index du compteur de tours. En finissant.	NOMBRE de tours.	LITRES par coup de piston.	MÈTRES cubes refoulés.	TOURS par minute.	VOIES de charbon.	KILOGRAMMES de charbon.	KILOGRAMMES par heure.
N° 1. ——— *heures*....									
N° 2. ——— *heures*....									
Totaux.....			———	———	———	———	———	———	———

MATIÈRES EMPLOYÉES :

Voies de charbon à kilogrammes.....
Suif.....
Huile de pieds de bœuf.....
Huile pour travaux.....
Chanvre.....

Le Mécanicien :

Digitized by Google

ANNEXE F. — **Description du Compteur d'eau Siemens et Adamson.**
(Pl. 102, fig. 4.)

Ce compteur est basé sur le principe de la force centrifuge. Il se compose d'une turbine tournant sur un pivot vertical placé à la partie inférieure, et dans un collier placé à la partie supérieure. L'eau est introduite au centre de la turbine par un conduit, et elle en sort par trois ou quatre ouvertures courbes ménagées sur la turbine, en imprimant à celle-ci un mouvement de rotation. Un certain volume d'eau est débité à chaque révolution de la turbine, et on n'a qu'à enregistrer ce nombre de tours pour connaître la quantité d'eau délivrée.

Cet enregistrement est effectué au moyen des vis sans fin, pignons et engrenages différentiels montés sur le cadran et sur l'arbre des aiguilles ainsi que le montre suffisamment la coupe verticale de l'appareil.

Le tableau suivant donne quelques indications sur les dimensions, prix et débits des divers numéros des compteurs.

NUMÉROS.	DIMENSION de l'orifice en $^{m}/_{m}$.	PRIX.	DÉBIT APPROXIMATIF en litres par heure sous une charge de 15 à 45 mètres.
1	10	63 fr.	700 à 1100
2	12	80	1300 à 2300
3	20	103	2500 à 4500
4	25	120	7000 à 11000
5	30	152	10000 à 17000
6	40	180	14000 à 23000
7	50	255	18000 à 32000

ANNEXE G. — **Description d'une borne-fontaine jaugée** (voir Pl. 101, fig. 3).

Dans certains cas, pour éviter la dépense d'un compteur d'eau, l'on se résigne à appliquer la jauge aux bornes-fontaines.

Mais une jauge de 1000 litres, généralement adoptée, mettrait 14 minutes pour remplir un seau de 10 litres, et la personne venue pour puiser un seau d'eau devrait se morfondre pendant près d'un quart d'heure devant le mince filet parcimonieusement mesuré par la jauge.

La borne-fontaine figurée planche 101 évite cet inconvénient.

Elle est divisée en deux compartiments étanches. L'eau est amenée dans le compartiment supérieur par un plomb à l'extrémité duquel est un robinet à flotteur. — Au repos, les deux compartiments sont en communication et pour peu qu'on n'ait pas puisé depuis quelques minutes, ils sont pleins et le robinet à flotteur est fermé.

Digitized by Google

Quand on tourne la poignée de l'axe X, la soupape P est soulevée de son siége pendant que la soupape N s'appuie sur le sien; toute l'eau contenue dans le compartiment inférieur s'écoule en quelques secondes et le seau est rapidement empli.

La poignée, abandonnée, le contre-poids M entraîne l'axe dans sa première position, ferme la soupape P, et ouvre la soupape N, qui livre passage au volume d'eau emmaganisé dans le compartiment supérieur. Le flotteur Q retombe et l'eau recommence à s'emmaganiser alors qu'on a épuisé en peu d'instants les deux seaux d'eau, quantité habituelle qu'on va chercher aux fontaines publiques.

La simplicité élémentaire du mécanisme qui peut être monté sommairement, presque sans ajustage, en tous cas sans précision avec du jeu dans tous les organes, par un ouvrier même peu habile, rend très-facile le fonctionnement de cette borne qui, depuis 6 ans qu'elle est établie sur plusieurs points de la banlieue, n'a donné lieu ni à une réparation, ni à une plainte, ni même au plus léger inconvénient.

C'est à ce titre qu'il a paru intéressant d'en donner un dessin et quelques lignes de description.

Annexe H. — Description de l'appareil à percer les conduites en charge.

La figure 9 (Pl. 102) montre l'ensemble de l'appareil monté sur le tuyau. Une mèche tournée M passe, à travers un presse-étoupes, dans une petite tubulure à T sur laquelle est déjà fixé le robinet d'arrêt à heurtoir R.

Un fuseau à vis F, manœuvré par une clef à rochet C, fait descendre la mèche au fur et à mesure du percement du tuyau.

La figure 10 montre le trou terminé; la mèche a été remontée, la petite soupape en cuir S, qui s'était prêtée au passage de la mèche, comme on le voit fig. 1, s'est relevée maintenant et fait clôture hermétique sur la bride ovale.

Il ne reste plus qu'à enlever la machine à percer proprement dite, c'est à dire toute la partie supérieure à la ligne A B, et à faire le joint définitif sur cette même ligne par une plaque pleine pour que l'opération soit terminée.

La partie inférieure reste sur le tuyau; elle est généralement en plomb, et le tout ne coûte que 5 francs pour les diamètres usuels.

Digitized by Google

ÉTUDE

SUR LES

FOURS A CUVE

DITS CUBILOTS

PAR M. GEORGES SALOMON.

INTRODUCTION.

Les fours à cuve, dits cubilots ou fours à la Wilkinson, qui sont installés dans les fonderies de fer de seconde fusion, sont des appareils où il s'agit de refondre aussi rapidement et économiquement que possible, sans avoir à se préoccuper de réactions chimiques, un alliage dont le point de fusion varie selon sa nature entre 1,100° et 1,300°.

Le métal et le combustible sont introduits à la partie supérieure par charges alternées; le vent est lancé dans le four à l'aide d'appareils soufflants et le métal en fusion se rend dans la partie inférieure d'où on peut le tirer à volonté.

La facilité avec laquelle s'opère la seconde fusion de la fonte a permis de construire les cubilots en s'écartant impunément des règles les plus élémentaires de la sidérurgie.

Mais il ne suffit plus aujourd'hui d'obtenir de la fonte liquide, il importe de l'obtenir économiquement, et pour y parvenir il convient de donner aux cubilots des profils et des dimensions convenables, d'y lancer le vent d'une façon judicieuse, d'opérer leur conduite avec soin..., etc.

Dans son excellent ouvrage, aujourd'hui presque introuvable (*De la fonderie telle qu'elle existe aujourd'hui en France*, Paris, 1858), M. Guet-

Digitized by Google

tier a donné quelques renseignements sur les cubilots installés en France, il y a plus de vingt ans.

Depuis cette époque, de nombreuses modifications ont été apportées à ces appareils en France, et particulièrement en Angleterre et en Allemagne. Il nous a semblé utile, vu l'importance de la question, de faire connaître ces modifications et les excellents résultats qu'elles ont entraînés.

Nous avons divisé notre étude en deux parties :

Dans la première partie le cubilot est considéré au triple point de vue de sa théorie, de sa construction et de sa conduite ;

Dans la seconde partie se trouve une description des divers cubilots les plus répandus en Angleterre, en Allemagne, en France, etc.

Nous citerons dans le cours de cette étude les sources auxquelles nous avons puisé des renseignements, mais nous mentionnerons ici tout spécialement l'excellent ouvrage de M. Dürre, professeur à l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, à cause des larges emprunts que nous y avons faits (*Handbuch des gesammten Eisengieserie Betriebes de E. F. Dürre.* 2 volumes avec planches. Leipsig, 1875).

PREMIÈRE PARTIE

THÉORIE, CONSTRUCTION ET CONDUITE DES CUBILOTS.

Avant d'aborder l'étude de la construction des cubilots, nous exposerons très-sommairement la façon dont la combustion s'opère dans les fours à cuve et dont la chaleur est utilisée à l'intérieur des cubilots.

1. **De la combustion dans les fours à cuve.** — L'air arrivant froid par la tuyère dans la matière supposée chaude, la combustion se

Digitized by Google

concentre autour du jet dans un espace ayant comme forme générale celle d'un ellipsoïde plus ou moins effilé auprès de la tuyère, et qu'on peut supposer formé de trois zones de combustion concentriques.

Ces zones sont plus ou moins étendues suivant la force et la température du vent, la nature et la quantité du combustible.

Plus le soufflage est énergique et plus le combustible est dense, plus les zones sont étendues.

Immédiatement en avant de l'œil de la tuyère et sur un plan horizontal il se forme une première zone, la zone oxydante, où l'air froid vient s'échauffer sur les particules de carbone et dans laquelle on trouve de l'air en excès.

Puis tout autour vient une seconde zone, la zone neutre où règne la plus haute température et où l'on a trouvé, à côté de l'*acide carbonique* qui domine, de l'oxyde de carbone, de l'oxygène libre et de l'azote.

Si ces gaz rencontrent du combustible qui ait pu suffisamment s'échauffer pour réagir sur l'acide carbonique de la seconde zone, il en résultera la production d'oxyde de carbone :

$$CO^2 + C = 2\,CO.$$

Il se forme alors une troisième zone, plus ou moins réductrice où la température baisse, et qui contient de l'***oxyde de carbone*** en excès, de l'acide carbonique et de l'azote. Les mêmes réactions se reproduisent verticalement.

M. Tunner, savant métallurgiste autrichien, a étudié avec soin l'étendue des zones de combustion, en opérant dans un petit haut-fourneau à charbon de bois avec des appareils soufflants peu énergiques.

Il résulte de ces expériences que la combustion la plus parfaite s'opère bien dans la seconde zone ; dans la première et dans la troisième, il y a refroidissement.

Il introduisit dans l'intérieur du fourneau suivant l'axe de deux tuyères espacées de $1^m.52$ une barre en fer rond. Il observa jusqu'à $0^m.12$ à $0^m.15$, à partir de l'œil de chaque tuyère, deux parties rouge sombre puis à la suite sur $0^m.15$ à $0^m.18$, une portion d'un rouge blanc éblouissant et au milieu sur $0^m.90$ la barre était à peine rouge sombre. Les diverses zones de combustion se trouvaient ainsi reproduites et pouvaient être mesurées.

Digitized by Google

Il constata également en introduisant des barres obliquement que la seconde zone, où règne la plus haute température, est plus étendue verticalement qu'horizontalement, et qu'elle atteignait 0m.30 à 0m.35 au-dessus de la tuyère.

II. **Gaz des Cubilots.** — Nous donnerons, d'après Ebelmen, la composition en volume des gaz s'échappant du gueulard des anciens cubilots.

Pour un petit cubilot, marchant au coke, Ebelmen a trouvé :

CO^2. . . .	11,08	11,91	12.11
CO.	15,14	11,91	11,98
H.	0,82	0,99	0,95
Az.	72,96	75,19	74,96
	100,00	100,00	100,00

et pour un cubilot de 3m.10 de hauteur marchant plus vite que le précédent :

CO^2. . . .	14,25	9,27	11,42
CO.	9,73	17,82	14,92
H.	0,38	1,15	0,96
Az.	75,64	71,76	72,70
	10,000	100,00	100,00

Les proportions d'oxyde de carbone contenues dans ces gaz sont considérables, attendu que dans les fours observés par Ebelmen on consommait de 20 à 30 pour cent de coke ; dans les cubilots actuels la quantité d'oxyde de carbone contenu dans les gaz a beaucoup diminué par suite de la bonne utilisation du combustible.

Il serait intéressant de posséder des analyses des gaz de ces cubilots ou au moins d'évaluer les quantités d'acide carbonique et d'oxyde de carbone qu'ils renferment, en se servant de l'appareil Orsat. (Cet appareil est décrit dans les *Annales des Mines*, année 1875, t. VIII, p. 485.)

III. **Utilisation de la chaleur dans les cubilots.** — Connaissant le rapport des quantités d'acide carbonique et d'oxyde de carbone contenues dans les gaz, on trouvera facilement comment la chaleur engendrée par le carbone brûlé à l'intérieur des cubilots, défalcation faite de celle que peut développer l'oxyde de carbone qui s'y

Digitized by Google

forme, et comment la chaleur totale qu'il aurait développée s'il avait été entièrement transformé en acide carbonique sont réparties à l'intérieur d'un cubilot. Cette recherche a été faite pour un ancien cubilot de la fonderie de Vienne (Isère), par notre savant professeur à l'École des Mines de Paris, M. L. Gruner (*Annales des Mines*, année 1875, t. VIII, p. 183).

Le cubilot considéré était entièrement cylindrique et avait 3 mètres de hauteur.

Il consommait en moyenne 19 pour cent de coke à 11 pour cent de cendre, il donnait environ 4 et demi pour cent de déchets et la composition en poids des gaz du gueulard déduite de la composition en volume de ces gaz donnée par Ebelmen était la suivante :

CO^2.	17,2
CO.	13,3
Az.	69,5
	100,0

La chaleur réellement engendrée dans ce cubilot était ainsi répartie :

DÉSIGNATIONS.	PAR KILOGRAMME DE FONTE.	PAR 100 CALORIES.
	calories.	
Chaleur utilisée.....	275	29.2
Chaleur sensible des gaz.....	240	25.5
Chaleur perdue (par les parois et scories)....	427	45.3
Chaleur produite..... ..	942	100.0

La chaleur totale l'était de la façon suivante :

DÉSIGNATIONS.		PAR KILOGRAMME DE FONTE.	PAR 100 CALORIES.
		calories.	
Chaleur utilisée.....		275	18.8
Chaleur qui reste encore disponible..	Chaleur sensible des gaz.....	240	16.4
	Chaleur que peut développer CO.	521	35.6
Chaleur perdue par les parois (y compris 15 à 20 calories prises par les scories).....		427	29.2
Chaleur totale.....		1.463	100.0

Digitized by Google

Si maintenant on considère les cubilots actuels ayant une hauteur de 4 à 5 mètres, une section rétrécie au niveau de la zone de fusion et dans lesquels on lance le vent d'une façon judicieuse, etc., etc., on n'y consomme plus que 6 à 7 pour cent de coke, allumage non compris, et l'on a au plus 4 pour cent de déchets.

En l'absence de toute analyse des gaz de ces cubilots, on peut déduire approximativement des résultats précédents la façon dont la chaleur est utilisée à l'intérieur de ces fours.

La chaleur utilisée pour la fusion de la fonte soit 275 calories (*Annales des mines*, 1873, t. IV, 224), est de plus de 50 pour cent de la chaleur réellement engendrée, et environ de 48 pour cent de la chaleur totale, au lieu de 29,2 et 18,8 pour cent comme précédemment.

Le poids des gaz étant à peu près proportionnel au carbone brûlé est trois fois moindre et la chaleur emportée par ces gaz se trouve réduite dans la même proportion.

Les gaz renfermant moins d'oxyde de carbone, la chaleur que pourrait encore développer l'oxyde de carbone et qui reste disponible est considérablement diminuée.

La chaleur perdue par les parois est réduite d'un tiers environ attendu que la fusion s'opère trois fois plus rapidement que dans les anciens cubilots.

Enfin, nous ajouterons, malgré son peu d'importance, que la quantité de chaleur emportée par les laitiers a également diminué avec leur proportion plus faible d'environ un tiers que par le passé.

IV. **Profils**. — Un profil entièrement cylindrique, comme on les faisait tout d'abord, est désavantageux ; car, si on conservait jusqu'au gueulard le diamètre qui répond à une bonne répartition de la chaleur au niveau des tuyères, il faudrait donner trop de hauteur au four.

La forme d'un tronc de cône reposant sur sa grande ou sa petite base qui à été aussi adoptée est encore plus défavorable. Il est inutile d'insister sur les vices de ces profils géométriques simples qui ne répondaient guère à ce qui devait se passer dans l'intérieur du four, ainsi que sur les diverses combinaisons qu'on a pu faire du cylindre et du cône ; nous nous contenterons de représenter, d'après M. Dürre (pl. 103, fig. 1 à 9), les divers profils qui ont été adoptés pour les cubilots.

Le profil ordinairement employé de nos jours et le plus avantageux résulte de deux cônes, de même axe, pénétrant l'un dans l'autre par

Digitized by Google

le sommet, et dont l'intersection détermine la place de la zone de fusion (pl. 103, fig. 8).

On retrouve ce profil légèrement modifié par des parties cylindriques dans la plupart des cubilots anglais et américains d'invention récente.

A cause de sa faible hauteur, la cuve peut être cylindrique; elle a quelquefois la forme d'un tronc de cône reposant sur sa plus grande base. Elle est reliée à l'ouvrage, cylindre retréci, par des étalages plus ou moins inclinés.

On donne ordinairement à la cuve et au creuset un diamètre double de celui de l'ouvrage.

L'élargissement de la cuve permet d'augmenter le volume des charges tout en diminuant la hauteur, les étalages assurent la descente parallèle des charges alternées de combustible et de fonte, et la concentration de la chaleur vers la partie inférieure; l'ouvrage étant suffisamment rétréci, il y règne la plus haute température; enfin avec le creuset convenablement élargi, on peut accumuler une certaine quantité de fonte liquide sans craindre le refroidissement.

Aux profils donnés par M. Dürre, nous adjoignons (pl. 103, fig. 9 à 13) ceux que M. Guettier a indiqués comme généralement employés en France de 1840 à 1856. La dernière forme (fig. 13) qui a été adoptée à la fonderie de l'École d'Arts-et-Métiers d'Angers se rapproche comme on le voit du profil représenté (fig. 8).

Nous représentons aussi (pl. 103, fig. 14) le profil du cubilot portatif imaginé au commencement de ce siècle par Launay (*Manuel du fondeur*, 1828), à cause de sa ressemblance avec celui des fours d'Ireland perfectionnés.

La section horizontale des fours est ordinairement circulaire. Cette section à l'avantage de donner une répartition très-uniforme de la chaleur sur tout le pourtour et d'offrir sous un contour minimum une superficie maxima.

C'est donc avec cette section, dont la construction est facile qu'on éprouvera le moins de pertes de chaleur. Lorsque le diamètre doit dépasser les dimensions ordinaires, on pourra donner aux cubilots une section ovale très-allongée, ou celle d'un rectangle à côtés plus ou moins arqués.

V. **Zone de fusion.** — Si l'on observe l'étendue des zones de

Digitized by Google

combustion, on voit que pour éviter la formation d'oxyde de carbone suivant un plan horizontal, la largeur de la cuve des cubilots au niveau des tuyères, point où s'opère la fusion et où l'on doit par suite obtenir la température maxima, ne devrait pas dépasser $0^{m}.40$ lorsqu'on marche avec une seule tuyère et qu'il conviendrait à peu près de doubler cette largeur si on marche avec deux tuyères opposées.

On a construit un cubilot elliptique dont le petit axe avait une longueur variant de $0^{m}.80$ à 1 mètre, le grand axe de 2 à 3 mètres et qui était muni de 5 ou 6 tuyères ; on avait ainsi autant de petits cubilots que de tuyères.

On peut diminuer la largeur de la zone de fusion lorsqu'on cherche à obtenir peu de fonte et que l'on dispose d'un soufflage peu énergique et d'un combustible léger, mais il ne faut pas oublier qu'avec une zone de fusion assez large, on obtient moins de déchets et que les parois du four ne sont pas détruites aussi rapidement.

La température sera d'autant plus élevée à l'intérieur du four, que le rapport entre le volume de la zone de combustion ou de fusion et le poids de coke brûlé par heure sera plus petit.

Ce rapport que l'expérience seule permet de fixer dans chaque cas particulier, a été déterminé pour un certain nombre de fourneaux sans foyer dans un tableau dressé par M. Gruner (*Traité de Métallurgie*, t. Ier, p. 221).

Nous en reproduisons le fragment suivant relatif à deux cubilots :

Digitized by Google

NOM ET NATURE DES FOURNEAUX.	Volume total de la capacité intérieure du fourneau en mètres cubes V.	Volume de la zone de combustion en mètres cubes. v.	Consommation par heure en quintaux métriques a.	Nombre de mètres cubes de la capacité intérieure par quintal métrique brûlé par heure $\frac{V}{a}$	Nombre de mètres cubes de la zone de combustion par quintal métrique brûlé par heure $\frac{v}{a}$	Combustible brûlé par heure et par mètre cube de la zone de combustion en quintaux métriques $\frac{a}{v}$	OBSERVATIONS concernant la nature de l'opération et des produits.
	m.c.	m.c.	m.q.	m.c.	m.c.	m.q.	
Cubilot ordinaire de 2m,50 de hauteur fondant 1000 kil. de fonte par heure.....	2	0.75	1.00	2	0.75	1.333	On consomme 10 pour cent de coke.
Grand cubilot de Nevers de 3m,30 de hauteur réfréel aux tuyères.....	2.60	0.52	1.50	1.73	0.33	2.885	On fond 2,500 kil. de fonte par heure en consommant 6 pour cent de coke.

VI. **Hauteur.** — La hauteur des cubilots se règle d'après la somme de chaleur qu'on a à consommer. Pour une bonne utilisation du combustible, cette hauteur devra être telle, que les gaz s'échappant par le gueulard, soient à une température aussi peu élevée que possible et que la fonte arrive bien préparée dans le bain inférieur qu'elle refroidirait, si elle y parvenait froide. En outre, si la fonte passait froide au niveau des tuyères, elle pourrait s'affiner et causer l'engorgement du four.

La fonte, matière lourde, traversera d'autant plus facilement le combustible qu'il sera plus léger; il en résulte que plus le combustible sera léger, plus le four devra être haut. On peut dire d'une façon générale, que la hauteur d'un cubilot devra augmenter à mesure que le poids spécifique du combustible diminuera.

Si on exagérait la hauteur des fours, il en résulterait un surcroît de résistance à la tuyère, et l'avantage qu'on trouve à bien préparer la fonte avant d'arriver dans le bain inférieur, serait compensé par l'altération de sa qualité.

Digitized by Google

Enfin il serait difficile, avec une cuve trop haute, de ringarder les points où la descente s'opérerait mal, en cas d'engorgement.

La hauteur des cubilots au charbon de bois est environ le double de celle des cubilots au coke. La hauteur des cubilots au coke varie ordinairement dans les anciens cubilots de 2 à 3 mètres. Cette hauteur bien insuffisante a été à peu près doublée dans les nouveaux cubilots, et cette augmentation de hauteur a produit les meilleurs résultats.

VII. **Position des tuyères. Mode de lancement du vent.** — On devra déterminer la position des tuyères de façon à transformer autant que possible l'oxyde de carbone qui se forme à l'intérieur du four en acide carbonique[1].

Il est très-difficile de déterminer à l'avance la hauteur de l'axe des tuyères, car elle varie avec l'étendue des zones de combustion.

Une série de tuyères superposées sur deux ou trois côtés du four, et qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté, permettra de trouver par tâtonnements la hauteur à laquelle on devra lancer le vent à un moment voulu sans avoir à la déterminer à l'avance, et permettra également d'accumuler dans le four une quantité variable de fonte liquide.

On a ainsi rangé jusqu'à six tuyères, l'une au-dessus de l'autre, plaçant la première à une distance telle de la sole que les dernières ne se rapprochent pas trop du gueulard, et que la fonte liquide en réserve dans le creuset ne refroidisse pas.

Sur un cubilot de 3 mètres de haut, muni de deux rangées verticales de six tuyères, M. Guettier a placé la première tuyère à une distance de la sole de $0^m.34$ environ, l'écartement des autres tuyères allait en diminuant de $0^m.02$, la distance entre la cinquième et la sixième se trouvant réduite à $0^m.24$. On marchait avec deux tuyères immédiatement superposées.

Avec ce procédé, on répartit la chaleur dans une trop grande partie du four, on la gaspille inutilement à la partie supérieure, tandis qu'on devra la concentrer seulement à la partie inférieure, au niveau de la zone de fusion.

On voit que, même en opérant dans un petit fourneau avec du charbon de bois et à faible pression, la distance verticale entre l'axe des

1. On sait en effet que le carbone peut fournir 8.080 ou 2.473 calories, selon qu'il se transforme en acide carbonique ou en oxyde de carbone.

Digitized by Google

tuyères, telle qu'elle est recommandée, par M. Guettier sera insuffisante, car le vent de la deuxième tuyère pénétrera sans utilité dans la seconde zone de combustion du premier jet, où l'acide carbonique domine, tandis qu'au-dessus, dans la troisième zone, il se formera surtout de l'oxyde de carbone.

Si donc on lance de l'air dans cette troisième zone, son oxygène régénérera l'oxyde de carbone qui a pu se former et l'on obtiendra de l'acide carbonique. Le point exact où commence la troisième zone est difficile à déterminer; mais en plaçant l'axe d'une seconde tuyère à une distance de l'axe de la première, variant de $0^m,50$ à $0^m,80$, on pourra atteindre la troisième zone de combustion formée autour de cette tuyère. Dans la plupart des cas cette distance varie de $0^m,50$ à $0^m,60$.

En brûlant ainsi l'oxyde de carbone sur place, on réalisera une économie notable de combustible, puisqu'on utilisera mieux le carbone employé; on activera la marche de la fusion, ce qui diminuera la quantité de chaleur perdue par les parois et entraînera encore avec une économie sur le combustible une diminution des frais de main-d'œuvre.

Actuellement, les tuyères, en nombre variable avec la quantité de fonte, sont en général placées dans la partie rétrécie du four à deux niveaux convenablement espacés. Un grand nombre de tuyères favorise la combustion, permet d'obtenir une température bien uniforme et d'activer la fusion de la fonte, mais il ne faut pas l'exagérer, car on compromet la solidité des parois et en donnant aux tuyères et aux buses une faible section, il en résulte par suite du frottement une perte de pression du vent considérable.

Depuis longtemps déjà, en Allemagne, on avait cherché à concentrer la chaleur au niveau de la zone de fusion. On mettait tout autour de cette zone et sur une hauteur restreinte, un certain nombre de tuyères disposées suivant les spires d'une hélice, afin d'en placer un grand nombre dans un petit espace. Ainsi, à la fonderie royale de Berlin, sur un four installé il y a environ 40 ans, il y en avait jusqu'à 16. Ce nombre bien exagéré a été réduit à 12 puis à 8, et dans ces derniers temps on ne marchait qu'avec 4 tuyères, les autres étant bouchées; ces 16 tuyères étaient distantes verticalement d'une hauteur d'environ ($0^m,068$), qui était beaucoup trop faible. Depuis environ vingt ans on ne marche plus à l'étranger qu'avec deux rangées de tuyères, mais la distance verticale entre ces deux rangées n'a pas souvent été établie d'une façon très-judicieuse.

Digitized by Google

En Amérique, en Angleterre et en Allemagne il existe, depuis peu des cubilots très-estimés où l'on a supprimé les tuyères, et où l'air arrive d'une façon régulière dans la masse en fusion par une ouverture ménagée autour du four. Suivant M. Dürre cette disposition permet d'obtenir une température régulière et d'activer la fusion de la fonte, sans compromettre la solidité du four; elle supprime l'emploi de nombreuses buses et tuyères à section étroite, de telle sorte qu'on peut lancer l'air à plus faible pression, et qu'on n'a plus à s'occuper de nettoyer les tuyères.

Quels que soient les éloges que M. Dürre fasse de ce mode de lancement du vent, il nous semble beaucoup plus avantageux, au point de vue de la bonne utilisation du combustible, de lancer l'air à deux niveaux convenablement espacés.

VIII. **Fondations des cubilots.** — Les cubilots sont formés de deux parties distinctes : un massif intérieur en maçonnerie réfractaire, le four et un massif extérieur ou enveloppe métallique.

Les fondations des cubilots se composent d'un simple massif en briques ou en moellons reposant généralement sur une couche de scories ou de graviers bien damée. Ces massifs s'élèvent ordinairement au-dessus du sol de l'usine d'une hauteur variant de $0^m,30$ à $0^m,45$.

On applique horizontalement sur la maçonnerie une plaque en fonte, percée au milieu d'un trou qui facilite sa pose, et sur laquelle on dame le plus souvent la sole directement.

Quelquefois, elle sert simplement à protéger la maçonnerie, c'est une *plaque de fondation*, et l'on place dessus une autre plaque généralement ronde ne la recouvrant pas entièrement, qui est alors la véritable *plaque de fond* sur laquelle on dame la sole et qui supporte l'enveloppe ou manteau du four. Elle est munie, à cet effet, d'une rainure ou d'un rebord d'environ ($0^m,040$) à ($0^m,050$) de haut pour empêcher l'enveloppe de se déplacer. Elle porte aussi sur le devant un appendice qui sert pour l'écoulement de la fonte.

IX. **Enveloppe ou manteau.** — Le four proprement dit, construit en matériaux réfractaires, est entouré à l'extérieur par une armature métallique, *l'enveloppe ou manteau*, destinée à le consolider et à diminuer les pertes de chaleur dues au rayonnement et au contact de l'air. L'enveloppe des cubilots se fait en tôle rivée ou en fonte. On emploie

Digitized by Google

ordinairement la tôle à laquelle on peut donner sans grands frais la forme voulue. D'ailleurs, on trouve aisément à très-bon marché des vieilles chaudières à vapeur qui constituent immédiatement une enveloppe de cubilots où il n'y a plus qu'à ménager les ouvertures nécessaires, pour la porte de travail, les tuyères, etc.; de plus la tôle a l'avantage d'être plus résistante que la fonte.

Il est quelquefois plus facile dans une fonderie d'exécuter un manteau en fonte. Si le four a de petites dimensions, on pourra se servir d'un manteau fondu d'un seul morceau, mais il est préférable, en général, d'en employer un qui soit formé de plusieurs tronçons, car la pose et les réparations sont plus faciles.

Dans bien des cas, on devra se servir pour confectionner l'enveloppe d'une méthode mixte faisant les parties simples en tôle et les parties compliquées telles que celles qui sont près des tuyères, de la porte de travail, etc., en fonte.

Il convient de river, de distance en distance, à l'intérieur du manteau de tôle, des cornières en fer destinées à supporter les diverses parties de la maçonnerie du four; on augmente ainsi la solidité de l'enveloppe et l'on peut réparer les parties détériorées de la cuve, sans avoir à mettre le four complétement à bas. On devra avoir soin de placer ces cornières de façon à ce qu'il ne s'effectue pas de trop grandes différences de dilatation entre leurs parties.

Il faudra toujours ménager entre la maçonnerie du four et l'armature un petit intervalle qui permette au métal de se contracter et de se dilater sans inconvénients. On remplit cet intervalle avec du sable brûlé, des cendres, etc., formant une couche isolante qui diminue les pertes de chaleur par rayonnement et conductibilité.

X. **Porte-vent, caisse à vent, etc., etc.** — Dans une fonderie où se trouvent plusieurs cubilots, le vent fourni par un ventilateur ou une machine soufflante suit une conduite principale qui traverse les fondations des cubilots, placés généralement en ligne l'un à côté de l'autre.

De là il passe dans les *porte-vent*, conduites latérales aux fours, et le plus souvent il se rend ensuite dans l'intérieur du cubilot, soit par des conduites plus ou moins coniques, *les buses*, venant déboucher dans des tuyères superposées suivant toute la hauteur sur deux ou trois côtés du four, soit par une conduite circulaire reliée par

Digitized by Google

un léger coude au porte-vent, et entourant la zone de fusion du four, avec laquelle elle communique par deux rangées de tuyères réparties sur tout le pourtour.

Nous exposerons le mode d'introduction de l'air à l'intérieur des cubilots sans tuyères lorsque nous les décrirons.

Le premier procédé, peu avantageux comme mode de lancement du vent, a l'inconvénient de compliquer le travail aux tuyères, qu'il faut ouvrir ou fermer tour à tour.

Parmi les nombreux systèmes de porte-vent imaginés jusqu'à ce jour, nous citerons ici un des plus simples qui est installé dans une fonderie de Chemnitz. Chacune des buses fixées à ce porte-vent est munie de clapets qu'il suffit de fermer ou d'ouvrir pour arrêter ou lancer le vent.

En ouvrant ces clapets on pourra nettoyer les tuyères, ringarder le four et observer la marche de la fusion par des regards en verre.

Le deuxième procédé, presque universellement adopté aujourd'hui, n'est qu'une reproduction sur le cubilot, avec quelques légères modifications, du système d'introduction de l'air dans le fourneau à vent de Sefström, métallurgiste suédois. (Voir *Traité de Métallurgie* du Dr Percy, traduit par MM. Petitgand et A. Ronna, t. Ier, p. 362.)

On l'appliqua pour la première fois, il y a environ 40 ans, à la fonderie royale de Berlin. La conduite annulaire, ou *caisse à vent*, installée en cet endroit était tout en fonte. La paroi extérieure était d'un seul morceau, et la paroi intérieure, portant 16 buses, était composée de 8 segments s'assemblant facilement. En face de chacune des tuyères, la paroi extérieure de la caisse portait des regards en verre qui permettaient d'observer la marche de la fusion. On déplaçait ces regards à l'aide de poignées lorsqu'on voulait nettoyer les tuyères et ringarder.

Il suffisait pour donner le vent d'ouvrir plus ou moins un ou deux clapets fixés sur un ou deux porte-vent, un peu au-dessous de la caisse à vent.

On verra plus loin les légères modifications qui ont été apportées à cette disposition sur les cubilots actuels. Elles ont permis au moyen de manœuvres très-simples de lancer le vent alternativement par l'une ou l'autre rangée de tuyères ou par les deux rangées à la fois, ce qui est très-important dans certains cas.

XI. **Portes de chargement et de travail.**— Dans les anciennes

Digitized by Google

installations où les cubilots étaient disposés sous des manteaux de cheminée, on opérait le chargement par le gueulard entouré d'une couronne en fonte afin de protéger les bords de la cuve. On plaçait au-dessus une trémie, et à l'aide d'échelles, les hommes montaient déverser les charges qu'ils portaient sur leur tête dans des petites caisses ou dans des corbeilles.

Dans les installations actuelles, la cheminée repose directement sur le cubilot, dont elle semble être le prolongement, et l'on ménage dans la partie de l'enveloppe qui unit le four à la cheminée une ouverture par laquelle on opère le chargement, et qui occupe environ un quart de la périphérie.

Cette ouverture est munie d'une porte en fonte garnie de briques ou de plaques de ciment à l'intérieur. Avec cette disposition, on établit, juste à la hauteur de la porte et à côté, une plate-forme sur laquelle on peut déposer les matières, qui y sont amenées à l'avance à l'aide d'un monte-charge; le travail au gueulard se trouve ainsi bien simplifié, et il devient facile de surveiller le chargement.

L'ouverture de travail qui a les mêmes dimensions que la porte de chargement est également munie d'une porte, simple battant en fer garni de matériaux réfractaires.

A la partie inférieure de la porte elle-même, se trouve une petite ouverture de ($0^{m2},08$) à ($0^{m2},10$), pouvant servir à l'écoulement de la fonte et à celle des scories. Après chaque poste, on ôte la porte de travail et on débarrasse le cubilot des résidus du travail en les faisant tomber devant le four, d'où on les retire lorsqu'ils sont refroidis.

En Allemagne, on préfère séparer complétement la coulée de la fonte de celle des scories et ne pas effectuer par la même porte l'enlèvement des carcas.

Dans ce but, on pratique une deuxième ouverture de coulée, disposée comme la première et placée sur le côté opposé à la porte de travail.

Les cubilots sont installés le long du mur de la halle de fonderie, l'ouverture de coulée de la fonte se trouvant à l'intérieur et la porte de travail, dans laquelle est ménagé le trou d'écoulement des scories à l'extérieur du bâtiment, au-dessous de l'ouverture de chargement.

De cette façon, on peut enlever les résidus accumulés devant le four lorsqu'on le veut; le travail se trouve simplifié à l'intérieur, et les incendies sont moins à redouter.

Digitized by Google

Si on craint d'amasser les résidus sous les plates-formes de chargement, qu'il est toujours prudent de faire en matériaux incombustibles, on pourra déplacer la porte de chargement de la porte de travail d'environ 90°. C'est également pour éviter les incendies, comme pour débarrasser des gaz de la combustion et régulariser la marche de l'appareil qu'on emploie les cheminées dans les fours à cuve où on marche à vent forcé.

XII. **Matériaux de construction des cubilots.** — A l'intérieur de l'enveloppe métallique que nous avons décrite se trouve le four proprement dit ou massif intérieur.

On peut employer pour la construction du four des matériaux réfractaires naturels, mais le plus souvent on se sert de matériaux réfractaires artificiels.

Les matériaux réfractaires naturels le plus ordinairement usités sont : les grès anciens, houilliers et du trias.

En Saxe, à Chemnitz, on construit l'ouvrage des cubilots avec des arkoses, qui sont des grès micacés argileux. Tous ces matériaux ont le défaut de décrépiter au feu, ils contiennent souvent des proportions de calcaire, et d'oxyde de fer, qui les rendent fusibles et ils présentent rarement une texture bien homogène.

Enfin, la difficulté qu'on éprouve à les tailler, empêche généralement de s'en servir.

Les produits réfractaires artificiels sont : les *pisés réfractaires* et les *briques réfractaires*.

Les cubilots sont ordinairement construits en pisé réfractaire préparé sur place. L'emploi du pisé est beaucoup plus économique que celui des briques, et un cubilot ainsi construit avec soin, sera plus durable qu'un cubilot en briques, à cause de l'homogénéité de la masse et de l'absence de joints.

Les briques sont employées de préférence pour la construction des profils compliqués. Certains cubilots sont entièrement construits en briques de même qualité. On pourra se servir pour la cuve et la cheminée de briques de qualité inférieure à celle de l'ouvrage et du creuset, vu la différence de température qui règne dans ces diverses parties. Il en résultera une certaine économie dans les endroits où on se procure difficilement les bons matériaux réfractaires.

On établit quelquefois le creuset et l'ouvrage en pisé avec la cuve

Digitized by Google

et la cheminée en briques. Il convient de placer des briques au gueulard, car les parois en pisé sont plus vite abimées.

Afin d'obtenir un joint régulier et solide dans la construction des fours de forme cylindrique ou conique, il est préférable d'employer des briques de forme spéciale au lieu de briques parallélipipédiques.

Dans ces briques, la face qui détermine le profil intérieur de la cuve ainsi que celle qui lui est opposée sont légèrement courbes, et les parois verticales de côté sont dirigées suivant les rayons de ces courbes.

M. Mallet fait observer que dans le district du Midland, on a construit certains cubilots avec des segments qui formaient 1/4 à 1/6 de la section circulaire du four et qui avaient jusqu'à (0^{m},30) de hauteur sur (0^{m},18) à (0^{m},20) d'épaisseur comptée horizontalement suivant la direction du rayon. De tels blocs bien joints durent plus longtemps que les briques courbes et exigent moins de réparations journalières, mais en revanche ils sont plus difficiles et par suite plus coûteux à transporter et à mettre en place. (Études de Robert Mallet sur la fonderie, publiées dans le *Pract. Mechanics Journal*, depuis quelques années.)

Les briques sont réunies entre elles par un mortier réfractaire fluide ou coulis, à la confection duquel on doit apporter le plus grand soin.

D'après M. Mallet, l'argile entrant dans la matière employée pour opérer les joints, devra être autant que possible identique à celle qui a servi à la fabrication des briques elles-mêmes. Si on ne suit pas ce principe et qu'on emploie une argile quelconque, il arrivera fréquemment qu'elle sera altérée à une température moins élevée que les briques et quelle que soit alors la qualité de ces dernières, le four sera rapidement hors de service.

XIII. **Construction des cubilots en pisé et en briques.** — La construction des cubilots en pisé se fait ordinairement de la manière suivante :

Après avoir préparé la sole, on place dessus un mandrin cylindrique ayant le diamètre qu'on veut donner au gueulard. On introduit du pisé entre le mandrin et l'enveloppe, et on le dame jusqu'à ce qu'on ait atteint la partie supérieure du mandrin.

A ce moment, on ébranle vigoureusement le mandrin pour le détacher du sable, on le soulève et on continue à damer du pisé jusqu'au gueulard. Le mandrin enlevé, on taille et rebat le pisé.

On réserve la place des tuyères, en introduisant par l'enveloppe des

Digitized by Google

morceaux de bois coniques, autour desquels on dame le pisé. En se servant d'un mandrin qu'on doit ainsi ébranler et soulever par saccades, on n'obtient jamais une chemise bien durable, car il est difficile de ne pas altérer les parois fraîchement damées. On devra, pour obvier à cet inconvénient, employer un mandrin en bois divisé en plusieurs morceaux, assemblés de telle façon qu'on puisse les poser et les retirer commodément.

En outre, au lieu de préparer ainsi les tuyères, il sera préférable de mettre en place, lorsqu'on sera arrivé à la hauteur voulue, un bloc d'argile prismatique à base carrée ou octogonale, traversé de part en part d'une ouverture tronconique plongeant légèrement vers la sole. Après vingt ou trente opérations, suivant la qualité du pisé employé, le massif intérieur devra être refait. Entre temps, on pourra le réparer opérant à peu près comme pour le construire.

La construction des chemises en briques ou en pierres réfractaires devra être confiée à un maçon habile. Les joints devront être aussi minces que possible et avoir au plus $0^m,005$ d'épaisseur.

On devra chercher autant que possible à diminuer le nombre des joints, et particulièrement dans toutes les parties exposées à une haute température, car chaque joint peut tôt ou tard être une cause de destruction.

Il conviendra donc, dans les cubilots en briques comme dans les cubilots en pisé, de mettre en place, à la hauteur voulue, un bloc d'argile où l'ouverture de la tuyère est ménagée. Les faces de ce bloc devront être préparées de façon à bien s'assembler avec les matériaux qui l'entoureront. L'excédant de dépense qui peut résulter de son emploi sera largement compensé par la solidité de la construction.

On confectionne ordinairement la sole des cubilots avec du pisé réfractaire qu'on dame sur la plaque du fond.

D'après M. Dürre, en reliant par de l'argile légèrement humectée des grains de sable assez grossiers, on obtient un excellent mélange pour confectionner la sole.

M. Mallet dit que le pisé employé ne doit pas contenir plus de 6 à 8 pour cent de calcaire, car au delà, il deviendrait très-difficile de le détacher du four lorsqu'on doit refaire la sole.

On se sert pour damer la sole de fouloirs en fer avec tiges de bois, analogues à ceux dont se servent les mouleurs.

Si bons que soient les matériaux réfractaires employés, on doit re-

Digitized by Google

faire ou au moins réparer la sole avant le commencement de chaque poste. Cette opération n'est d'ailleurs pas très-longue, car lorsqu'on travaille d'une façon continue, le four se refroidit peu d'un poste à l'autre et le sable que l'on dame, sèche rapidement.

La sole doit parfaitement se raccorder aux parois du creuset et présenter vers le trou de coulée une légère pente afin de faciliter l'écoulement des produits. L'épaisseur de la sole varie avec la qualité du sable; on lui donne en moyenne environ $0^m,08$.

XIV. **Observations générales sur les matières passées au cubilot.** — Toutes les fontes convenant au moulage peuvent être passées au cubilot.

Les fontes grises facilement fusibles, comme les fontes d'Écosse conviendront particulièrement. Ces fontes, ayant besoin d'être peu surchauffées, échappent davantage à l'action des gaz de la combustion, CO^2, CO, etc., ainsi qu'au soufre et à la silice contenus dans les cendres du coke.

La qualité et la composition chimique des fontes sont toujours légèrement modifiées, lors de la fusion au cubilot; elles se carburent en particulier. On pourra s'en rendre compte par une analyse avant et après la fusion.

On a essayé de transformer au cubilot, de la fonte blanche en fonte grise, mais l'impossibilité où l'on est d'arriver à une composition déterminée de la fonte, ne peut que rendre ces essais stériles.

Après la fusion, la fonte a des qualités plus précieuses de dureté et de résistance, mais il ne faudrait pas trop répéter le nombre des fusions, car il se produirait l'effet contraire.

Les fontes truitées et les fontes blanches de faible teneur en carbone conviennent peu pour les cubilots.

De toutes les fontes blanches, dit M. Guettier, c'est celle qu'on rencontre avec une cassure grenue qui est la moins propre à la deuxième fusion, elle est pâteuse, se fige promptement et peut causer les obstructions du creuset, si sa température n'est pas portée à un point très-élevé par une addition de coke.

Nous ne nous occuperons pas des divers procédés consistant à opérer des mélanges de différentes fontes ou à ajouter aux charges des matières étrangères, des métaux, tels que le fer, l'acier ou le manganèse, etc..., dans le but d'améliorer la qualité de la fonte et d'obtenir

Digitized by Google

un produit d'une nature déterminée, car nous serions entraînés bien en dehors du cadre que nous nous sommes tracé.

L'état fragmentaire a autant d'influence que la nature de la fonte, vu la faible hauteur des cubilots. La fonte doit être chargée en morceaux d'égale grosseur, bien débarrassés du sable ou des saletés qui peuvent y adhérer.

Il convient que leur longueur ne dépasse pas le quart du diamètre de la cuve.

On passe également au cubilot une certaine quantité de brocaille en la chargeant convenablement avec la fonte en gueuse. Le déchet de fonte varie essentiellement avec le métal et le combustible employés, la conduite du vent et de l'opération en général. De 8 à 10 pour cent ou même plus qu'on a obtenu en mauvaise marche on a pu descendre à 4 et 5 pour cent en moyenne.

Les combustibles employés pour les cubilots sont ordinairement le coke et le charbon de bois, mais le plus souvent le coke.

Le coke devra produire aussi peu de cendres que possible. Les cokes anglais ont une teneur en cendre de 7 à 8 pour cent; les cokes de Saarbruck lavés 11 pour cent, les cokes d'Anzin lavés 7 à 8 pour cent, etc.

Les matières siliceuses que les cendres contiennent, celles qui proviennent des matériaux réfractaires, le sable qui peut adhérer à la fonte forment avec le sesquioxyde de fer, résultant de l'oxydation du fer, un laitier, silicate double d'alumine et de fer qui entraîne en s'écoulant une certaine quantité de calories.

On voit donc, qu'il y aura un certain intérêt à diminuer la proportion de laitiers, proportion qui est actuellement plus faible d'un tiers que par le passé.

Afin de dissoudre les cendres dans le laitier, on ajoute comme fondant, une partie de calcaire au moins égale à celle de cendres et même souvent double.

En Angleterre, au lieu de calcaire, on emploie quelquefois du spath-fluor qui forme des fluosilicates très-fluides.

Le coke employé doit être dense, homogène, d'aspect brillant, de couleur gris clair et avoir une cassure conchoïde ne présentant pas de pores.

Il convient aussi de ne charger que des morceaux réguliers, dont les dimensions varient avec le diamètre du four, mais cette règle n'est pas

Digitized by Google

aussi importante à suivre que pour la fonte, à cause de la différence de densité entre le coke et la fonte. On devra écarter les morceaux trop petits et le fraisil, car ils brûlent trop vite ; lorsqu'on les emploie, il se forme souvent dans la colonne de fusion des vides qui donnent lieu à une descente irrégulière des charges et il en résulte un refroidissement.

Le coke doit être conservé dans des lieux couverts ; sa teneur en eau doit être aussi faible que possible, afin d'écarter toute cause de refroidissement à l'intérieur du four.

Le charbon de bois n'est plus guère employé que dans les endroits où le bois est à très-bon marché, et où l'on veut obtenir des fontes de moulage très-pures, car les meilleurs cokes sont toujours plus impurs que le charbon de bois. L'économie résultant de l'emploi du coke ne tient pas seulement à la différence du prix d'achat, mais aussi à ce qu'il faut en consommer beaucoup moins que de charbon de bois pour obtenir le même effet.

Mackenzie a conseillé, pour réaliser une économie de combustible dans les cubilots à charbon de bois, de faire circuler par les tuyères un léger filet d'huile minérale ou de pétrole, provenant d'un réservoir placé à côté du four.

L'huile est entraînée dans l'intérieur du cubilot avec l'air de la soufflerie et le charbon de bois, n'agissant alors que comme mèche, brûle beaucoup moins rapidement. En Amérique, en Angleterre depuis quelques années, en France depuis peu, on a cherché à diminuer la dépense en combustible dans les cubilots au coke où l'on veut fondre de gros blocs, en lançant également par les tuyères un léger filet d'hydrocarbures liquides.

On a essayé de passer aux cubilots les combustibles naturels, la houille, le lignite et la tourbe, mais comme pour les hauts fourneaux on a dû renoncer à leur emploi.

XV. **Du vent lancé dans les cubilots.** — On lance le vent dans les cubilots à l'aide de machines soufflantes, ou le plus ordinairement de ventilateurs.

Une bonne conduite du vent permet d'obtenir une économie notable sur le combustible et les déchets, et influe sensiblement sur la qualité de la fonte.

Le volume d'air à lancer, dans un temps déterminé, à l'intérieur d'un

Digitized by Google

cubilot, doit être calculé de façon à obtenir la combustion complète du combustible.

On peut admettre qu'il faut environ 10 mètres cubes d'air pour brûler un kilogramme de coke.

D'après cette donnée, connaissant la quantité de combustible chargé en un temps donné, on déduira facilement le volume d'air qui devra être lancé dans le four pendant ce temps.

En lançant le volume d'air nécessaire, on élève la température, on active la descente des charges, etc., etc. Sans donner un trop grand excès de vent, il sera préférable de dépasser la quantité nécessaire plutôt que de ne pas l'atteindre, ainsi qu'on le faisait dans les anciens cubilots.

La pression du vent est généralement peu élevée et dépasse rarement ($0^m,025$) à ($0^m,035$) de mercure.

L'augmentation de la quantité de vent et de la pression n'est pas avantageuse, si la hauteur du four n'est telle que la sortie des gaz par le gueulard soit aussi lente que possible.

La pression du vent varie essentiellement avec la qualité du combustible, les dimensions des matières, la hauteur du four, etc.

D'après Karsten, un vent dont la vitesse est trop grande déplace le charbon, en consume une trop grande quantité dans la partie supérieure de la cuve et blanchit la fonte, dont le tissu devient quelquefois grenu, parce qu'elle se rapproche du fer malléable ; il en résulte des engorgements, des descentes irrégulières et un encombrement de métal demi-fondu. Un vent trop faible, lorsque la cuve est large, ne donne pas assez de chaleur et il blanchit la fonte qui peut devenir alors si épaisse qu'elle cesse de s'écouler du fourneau.

Connaissant le volume d'air à lancer dans un certain temps, la pression et la température du vent, le nombre des tuyères, on détermine aisément le diamètre des buses et des tuyères.

Il existe des tables très-complètes des volumes d'air s'écoulant en une minute, à des pressions différentes, par des buses de divers diamètres.

Nous reproduirons en particulier une table très-complète de Neuschild, en supprimant toutes les indications relatives à des pressions supérieures à 1 dixième d'atmosphère [1].

1 Voir à la fin le tableau I.

Digitized by Google

Dans certains cubilots où l'on disposait d'une pression suffisante aux tuyères, on a fermé plus ou moins le gueulard, de façon à forcer le vent de haut en bas. En brûlant ainsi les gaz sous contre-pression, on a pu fondre des mélanges plus réfractaires, les bains obtenus étaient beaucoup plus chauds et la fonte restait plus longtemps liquide.

XVI. **Emploi de l'air chaud.** — On a essayé d'employer l'air chaud dans les cubilots, mais on a reconnu qu'il était préférable de marcher à l'air froid.

Après des expériences comparatives qui durèrent plus d'une année, sur deux cubilots marchant dans les mêmes conditions à l'air froid et à l'air chaud, M. Guettier fit les observations suivantes :

La fusion était plus lente au vent chaud qu'au vent froid. Le temps nécessaire pour fondre 1000 kilogrammes était augmenté de un cinquième et quelquefois de un quart.

Le déchet était plus considérable, circonstance qui se déduit tout naturellement de la précédente.

La nature de la fonte grise après sa fusion restait la même dans les deux cas. La fonte provenant de bocages blancs devenait un peu grise dans le fourneau à vent chaud.

Les produits à l'air froid offraient plus de tenacité, quelle que fût d'ailleurs la nature du fer crû jeté dans les cubilots.

La différence dans la consommation du combustible était en faveur de l'air chaud, mais elle était peu sensible. Elle avait seulement diminué de un douzième à un dixième.

Pendant les opérations, la température de l'air fut successivement portée de 250° à 350° et les résultats furent, à peu de choses près, constamment les mêmes.

Il est d'ailleurs certaines qualités de fontes qui ne peuvent, lorsqu'on les refond dans les cubilots, supporter l'effet de l'air chauffé sans être dénaturées.

Ajoutons, en outre, que l'emploi de l'air chaud pourra obliger à se servir d'une machine soufflante au lieu d'un ventilateur, car la pression de l'air qui pénètre à l'intérieur du cubilot, se trouve sensiblement diminuée après avoir circulé dans les conduits où il s'échauffe.

XVII. **Utilisation des gaz perdus** — Par suite du peu d'avantages que présente l'emploi de l'air chaud dans les cubilots et de la

Digitized by Google

faible température qu'ont actuellement les gaz s'échappant du gueulard, l'utilisation de ces gaz à leur sortie du four, ne présente plus le même intérêt que par le passé. Nous ne parlerons donc que sommairement des appareils imaginés, dans le but de les utiliser au gueulard même pour échauffer le vent lancé dans le four.

Ces appareils décrits par Karsten, Guettier, etc., étaient formés d'un certain nombre de conduits disposés de différentes façons ; l'air lancé dans des conduits qui étaient léchés par les flammes du cubilot, se trouvait échauffé avant de pénétrer par les tuyères. Ces appareils étaient peu commodes à construire ou à réparer, et en cas de réparation ils obligeaient à arrêter le cubilot.

On a aussi essayé d'utiliser la chaleur perdue au gueulard, pour échauffer l'eau des générateurs, opérer la cuisson de la chaux, etc., mais on a dû y renoncer pour les raisons précédentes et à cause de l'intermittence du travail des cubilots.

XVIII. **Mise en feu.** — On a longtemps opéré la mise en feu des cubilots, en remplissant une fois et même deux fois le four de combustible jusqu'au gueulard.

Au bout d'un certain temps, lorsqu'on jugeait le four suffisamment échauffé, on mettait la première charge de fonte, puis des charges alternées de combustible et de fonte ; on fermait l'ouverture de coulée laissée ouverte et on commençait à lancer le vent.

L'emplissage est une dépense de chaque campagne ou de chaque poste qu'il s'agit de réduire autant que possible.

Il devra toujours être tel que le four soit assez échauffé pour que la première charge de fonte puisse fondre facilement et qu'elle rencontre en descendant une sole suffisamment chaude pour rester liquide.

Pour arriver à ce but il suffira d'opérer la mise en feu de la manière suivante :

Jeter au fond du cubilot environ 80 litres de charbon de bois et y verser ensuite du coke jusqu'à un mètre au-dessus de la tuyère, puis achever de remplir avec des charges ordinaires de coke et de fonte ; par une tuyère ménagée au niveau du fond, lancer sur le charbon un courant d'air forcé et quand apparaissent les premières gouttes de métal fondu, boucher cette tuyère avec un tampon de terre et remonter la buse pour souffler par la tuyère ordinaire. Le fond du cubilot est ainsi parfaitement échauffé avant que la fonte n'y soit arrivée, et on fait sur le

Digitized by Google

procédé habituel une grande économie de temps et de combustible. (Mémoires de la Société des Ingénieurs civils, année 1862.)

On opérait depuis longtemps d'une façon analogue en Moravie sur certains cubilots que nous avons vus aux forges et fonderies de Witkowitz.

L'échauffement du fond du cubilot sera particulièrement précieux dans les industries où l'on doit obtenir dès le commencement de la fusion, de la fonte très-chaude. Pour atteindre ce résultat dans les cubilots munis d'une caisse à vent où débouchent deux rangées de tuyères, on devra marcher avec la rangée inférieure jusqu'à ce que les premières gouttes de métal fondu apparaissent aux tuyères supérieures.

Ainsi que le fait observer M. Guettier, lorsqu'on remplira le four à la fin de chaque poste de charges alternées de combustible et de fonte et que l'on fermera ensuite avec soin toutes les ouvertures, on pourra recueillir très-rapidement le lendemain matin de la fonte liquide et l'on réalisera une certaine économie sur le combustible ordinairement employé à la mise en feu.

XIX. **Généralités sur la conduite.** — Dès que la fusion apparaît aux tuyères, on commence à souffler d'abord lentement, puis on augmente peu à peu la quantité d'air et la pression, jusqu'à ce qu'on atteigne la marche désirée. On opère de même le soufflage à la fin de l'opération, l'arrêtant dès que la dernière charge de métal qu'il convient de ne pas recouvrir de combustible commence à descendre.

La mise des charges s'opère, bien entendu, dès que la colonne de fusion suffisamment ébranlée laisse une place vide.

Lorsque toute la fonte liquide a été épuisée, on enlève la porte de travail et on vide complétement le four.

Le contenu se compose principalement de coke non brûlé, qu'on retire à l'aide d'un crochet à long manche, on l'éteint promptement et il sert au remplissage le jour suivant.

On charge quelquefois à la fin de l'opération une certaine quantité de calcaire, pour scorifier toutes les saletés, mais on n'a guère trouvé d'avantage à opérer ainsi.

La conduite du four, pendant la fusion, comporte, en outre du chargement, l'écoulement de la fonte liquide et du laitier et le travail aux tuyères.

On doit laisser au fondeur le soin de déterminer les coulées; il ne

Digitized by Google

doit pas être obligé de livrer juste à point la fonte à chaque travailleur qui vient lui en demander et il convient, à tout point de vue, de ne tirer que des quantités de fonte correspondant aux charges.

La fonte se charge au poids et le combustible au volume.

Le chargement se fait plus rapidement et plus facilement lorsqu'on charge le combustible au volume dans des mesures toujours bien remplies de la même façon. Le prix de revient se trouve seulement un peu plus difficile à établir, car le combustible se vend le plus souvent au poids.

Le calcaire ajouté ne se pèse ordinairement pas ; on le met en quantité variable, se réglant sur la teneur en cendre du coke, la propreté et les dimensions des morceaux de fonte chargés. Les charges composées de brocailles exigent plus de fondant que celles qui sont formées de gueuses.

Les charges de fonte et de combustible devront être déterminées et placées avec le plus grand soin.

Si on se reporte à l'étude des zones de combustion, on voit que les charges de fonte solide ne doivent jamais se trouver dans la première zone formée autour de la tuyère, car l'oxygène de l'air en excès qui y domine affinera cette fonte, la température y sera insuffisante pour la fusion et il pourra en résulter des engorgements.

Les charges de coke devront donc être telles que les charges de fonte commencent au moins à la naissance de la seconde zone où règne la plus haute température et où domine l'acide carbonique.

Si on plaçait la fonte exactement en ce point, elle parviendrait solide dans la première zone, aussitôt qu'une portion quelconque du combustible qui la supporte serait consumée.

Il faudra donc que le fond du four soit toujours rempli d'une quantité de combustible dont le niveau supérieur dépasse l'axe de la tuyère d'une hauteur égale à celle de la première zone de combustion au minimum augmentée de la hauteur correspondant à la quantité de coke qui sera brûlée par suite de la fusion de la fonte placée immédiatement au-dessus, quantité qui devrait être celle des charges de coke.

Plus la charge de fonte sera faible, plus cette hauteur diminuera, ce qui sera avantageux, puisqu'on diminuera la quantité de combustible se trouvant dans la seconde zone et les chances de production d'oxyde de carbone.

On peut cependant remarquer qu'une charge de fonte un peu forte

Digitized by Google

absorberait suffisamment de chaleur pour que l'acide carbonique provenant de la deuxième zone ne rencontre plus, au-dessus de la fonte, du combustible suffisamment échauffé pour se transformer en oxyde de carbone, mais il sera préférable, pour éviter la formation d'oyde de carbone de diminuer la charge de combustible.

On devra donc, pour opérer économiquement, chercher à diminuer le volume des charges alternées, en multipliant leur nombre, donnant toujours à la charge de coke, relativement faible par rapport à celle de fonte, une épaisseur suffisante pour empêcher la charge de fonte placée au-dessus de la traverse. Cette épaisseur varie d'ailleurs avec la nature du combustible, le diamètre des fours, la qualité de la fonte.

C'est à tort qu'on effectue le plus souvent pendant toute la durée d'une opération des charges de coke composées toujours de la même quantité ; car à mesure que le poste touche à sa fin, le niveau du combustible placé au fond du four, tend à descendre, et la fonte solide parviendra dans la première zone si on ne compense pas cette baisse de niveau par une augmentation proportionnelle de la charge de combustible.

Les premières charges de fonte devront être plus faibles que les autres et être formées autant que possible de fonte peu réfractaire. Dès que la fonte liquide apparaîtra aux tuyères, on augmentera lentement les suivantes, s'arrêtant à une charge moyenne, déterminée par la quantité de fonte qu'on voudra obtenir ; cette charge aura atteint son maximum, aussitôt que la nature de la fonte obtenue, bien que toujours un peu différente de celle qu'on a chargée, sera modifiée d'une façon appréciable ; son grain sera plus fin et plus régulier, mais elle ne devra être ni plus grise ni plus blanche.

Le volume des charges décide de la dimension des fours et inversement. La façon dont les charges de fonte sont composées variera avec la forme des morceaux dont on disposera, la pression de l'air et le produit qu'on désire obtenir.

Si on veut éviter les dérangements dans la marche du four, on devra avoir bien soin, lorsqu'on voudra passer d'une qualité de fonte à une autre, de ne modifier que très-lentement la composition des charges.

Le roulement journalier des cubilots doit être consigné sur un registre de consommation où l'on mentionnera dans des colonnes distinctes en face des dates correspondantes, le nombre et le poids des charges, la consommation d'une façon générale de la fonte, des pièces

Digitized by Google

de rebut, des jets de coulée et du coke; la nature des diverses espèces de fonte employées, les observations, la production, le déchet total, la proportion de déchet produit et de combustible consumé pour 100 kilogrammes de fonte chargée.

XX. **Conclusion.** — Alors que du temps de Karsten la dépense en coke s'élevait en moyenne à 48 pour cent, pour atteindre 19 pour cent dans quelques fours cités par Ebelmen, et descendre en bonne marche, d'après M. Guettier à 15 pour cent, on peut actuellement compter à l'aide de certains cubilots sur une consommation de 10 pour cent en moyenne, allumage compris.

Aussi, au lieu d'utiliser à la fusion de la fonte 25 à 30 pour cent de la chaleur réellement engendrée par le combustible comme dans les anciens cubilots, en utilise-t-on aujourd'hui plus de 50 pour cent, ainsi que nous l'avons fait observer.

La différence entre ces résultats et les anciens tient en partie aux perfectionnements qui ont été apportés aux profils, aux dimensions, à la construction et à la conduite des fours, à la disposition des tuyères, au choix des matières, etc., etc.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES CUBILOTS LES PLUS RÉPANDUS

EN ALLEMAGNE, EN ANGLETERRE, EN FRANCE, ETC.

XXI. **Historique sommaire des cubilots.** — Dès le commencement du siècle dernier, on se servait en France de petits fours portatifs formés de deux parties distinctes, une cuve et un creuset, qu'on lutait pendant l'opération; le vent lancé par des soufflets à main, pénétrait par un trou placé à leur jointure. Ces petits fournaux décrits par

Digitized by Google

Réaumur avaient 16 à 24 pouces de hauteur et 6 à 9 pouces de diamètre.

Réaumur perfectionna ces fours; au lieu d'enlever le creuset pour retirer la fonte liquide, il fit un trou de coulée en face de la tuyère et suspendit le four sur deux tourillons mobiles placés dans des crapaudines dont l'axe passait par le centre de gravité. En inclinant le four et débouchant le trou de coulée, on versait la fonte.

Les dimensions de ces fours ont été en augmentant et on a placé le trou de coulée au niveau de la sole, de façon que la fonte puisse être tirée sans qu'on eût à incliner le four.

Nous ne parlerons pas des divers cubilots construits vers cette époque; ils ont été décrits en détail dans les ouvrages de Réaumur, de Launay (*Manuel du fondeur* 1828) et de Karsten (*Manuel de la métallurgie du fer*, traduit par Calmann, 2e édition, t. II.) — MM. Mallet et Dürre mentionnent des petits appareils de fonderies ambulantes, les calebasses, employées jadis en Belgique, qui ont quelque analogie avec les premiers fours décrits par Réaumur. On en trouvera la description dans Valérius (*Manuel de la fabrication de la fonte*) et particulièrement dans une seconde édition de l'ouvrage de Launay. (*Nouveau manuel complet du fondeur*, par J. B. Launay. — *Manuels Roret* 1854.)

XXII. **Cubilots d'Ireland.** — On a donné deux profils distincts aux cubilots d'Ireland.

1° Une cuve cylindrique réunie au creuset, cylindre retréci par des étalages.

2° Un creuset et une cuve ayant à peu près le même diamètre, reliés par des plans inclinés en sens contraire à l'ouvrage cylindre retréci.

La cuve est cylindrique ou légèrement conique, le creuset est quelquefois conique.

La description du cubilot d'Ireland répondant au premier profil ayant déjà été souvent faite, nous résumerons en quelques lignes les éléments caractéristiques de ce four, qui a attiré l'attention générale. Ce cubilot dont le profil est représenté (pl. 103, fig. 15), avait une hauteur totale, y compris la cheminée, de 8^m 23, la hauteur du four de la sole au gueulard était de 3^m 70 et le diamètre de l'ouvrage était de 0^m 70.

A côté du cubilot se trouvait un monte-charge hydraulique.

La sole était damée sur une plaque à charnière, pouvant s'ouvrir du dedans au dehors dans une fosse ménagée dans le massif de fondation.

Digitized by Google

Après chaque poste, on ouvrait cette plaque et l'on pouvait alors facilement nettoyer la cuve et la réparer.

Cette plaque sous l'effet des charges qu'elle supportait était souvent détériorée et elle était dificile à ouvrir lorsqu'il se formait des carcas.

Cette installation coûteuse a été abandonnée.

L'emplissage de ce four était de 355 kilogrammes, les charges de fonte de 1016 kilogrammes et les charges de coke, sauf la première qui était plus forte, de 76 kilogrammes.

La consommation moyenne en combustible était de 11,6 pour cent.

La fig. 16 (pl. 103) représente le second profil des cubilots d'Ireland.

La cuve est ordinairement cylindrique et la cheminée qui la surmonte est légèrement conique.

Nous rappellerons ici la grande ressemblance de ce profil avec celui du four pour fonderie ambulante imaginé par Launay et représenté par la figure 14 (pl. 103).

Les premiers fours d'Ireland n'avaient que deux tuyères opposées ; on adopta plus tard deux rangées de tuyères en nombre variable où l'air pénétrait après avoir circulé dans une caisse à vent placée tantôt entre l'ouvrage et le manteau, tantôt à l'extérieur du manteau.

Les dimensions du four dont nous donnons le profil sont les suivantes :

I. Diamètres intérieurs du four.

Diamètre	à la sole.	$0^m.86$
—	à l'ouvrage.	$0^m.62$
—	au ventre.	$1^m.10$
—	au gueulard (Base de la cheminée)	$1^m.02$
—	au sommet de la cheminée.	$0^m.70$

II. Hauteurs.

Hauteur	de la sole à la base de l'ouvrage	$0^m.50$
—	de l'ouvrage.	$0^m.62$
—	des étalages.	$0^m.62$
—	de la cuve, depuis les étalages jusqu'au gueulard	$2^m.04$
—	de la cheminée, depuis le gueulard jusqu'au sommet.	$3^m.75$
—	de la sole à l'axe des tuyères.	$0^m.52$

Ce four servait à fondre des pièces pesant jusqu'à 4,000 kilogr.

Digitized by Google

On y charge tout d'abord du coke jusqu'à (0m.150) au-dessus de la base des étalages; on jette quatre poignées de calcaire sur la charge de combustible et on met ensuite 750 kilogrammes de fonte composés de 2 tiers de gueuses et 1 tiers de brocailles, puis on met dessus 75 kilogrammes de coke.

La deuxième charge de fonte est la même que la première, puis la troisième s'élève à 1100 kilogrammes la quatrième à 1200 kilogrammes et la cinquième à 1250 kilogrammes.

On a construit en Angleterre et en Amérique de très-grands cubilots d'Ireland produisant jusqu'à 11,250 kilogrammes à l'heure, avec une dépense de coke d'environ 10 à 12 pour cent et 6 à 7 pour cent de déchets de fonte : ces fours avaient le profil du précédent.

XXIII. **Cubilots d'Ireland installés en Allemagne.** — On a également installé en Allemagne quelques cubilots d'Ireland de grandes dimensions qui servent à la fonderie proprement dite et à la fusion des fontes à traiter par l'appareil Bessemer, en remplacement des fours à reverbère, d'un emploi trop coûteux.

Nous représentons d'après M. Dürre (pl. 103, fig. 17 à 21) deux de ces cubilots qui ont été installés il y a environ dix ans. Ces deux fours ont à peu près le même profil.

Pour tous deux, l'ouvrage est entouré d'une caisse à vent formée par le vide existant entre la paroi extérieure de l'ouvrage recouverte de plaques de fonte et le manteau de tôle.

Dans le four représenté (figure 19) et qui est installé à la fonderie Borsig, de Berlin, on peut, à l'aide d'une plaque glissant horizontalement dans une coulisse, diviser la caisse à vent en deux compartiments superposés et complétement distincts, dans chacun desquels débouche séparément une rangée de tuyères.

Suivant que cette plaque sera tirée ou non, l'air amené par un portevent débouchant à la partie inférieure, pénétrera par les deux rangées de tuyères ou par la rangée inférieure seulement.

La rangée supérieure comprend 8 tuyères et la rangée inférieure 4. La distance entre les deux rangées est de 0m.48.

Les tuyères inférieures ont une largeur de 0m.130 et les tuyères supérieures n'ont que 0m.065; ordinairement on donne au maximum 0m.136 aux tuyères inférieures et 0m.071 aux tuyères supérieures.

Dans l'autre four (figure 17) les deux chambres restent toujours

Digitized by Google

séparées par une cloison fixe et elles sont reliées toutes deux au conduit principal par deux porte-vent spéciaux munis de clapets.

Cette disposition n'est pas représentée sur la figure 17. Suivant qu'on ouvrira l'un ou l'autre clapet ou les deux à la fois, on donnera le vent par l'une ou l'autre rangée ou par les deux à la fois.

La distance verticale entre les deux rangées est ici de $0^m.73$.

Le travail du cubilot de la fonderie Borsig est des plus simples.

On charge d'abord environ 350 à 400 kilogrammes de coke de Westphalie, de telle sorte que le niveau supérieur du coke dépasse d'une certaine hauteur les tuyères supérieures et sur cette première charge on met 200 à 300 kilogrammes de fonte.

On laisse tranquillement brûler le coke, le trou de coulée et les regards étant ouverts et la plaque à coulisse fermée jusqu'à ce que les premières gouttes de fonte apparaissent au niveau des tuyères inférieures.

On ferme alors ces ouvertures, et l'on donne peu à peu le vent par les tuyères inférieures jusqu'à ce qu'on atteigne une pression de $0^m.20$ à $0^m.30$ d'eau ; on met ensuite une nouvelle charge de 50 kilogrammes de coke et de 400 à 450 kilogrammes de fonte, et l'on souffle de la même façon jusqu'à ce que la fusion se montre à la rangée des tuyères supérieures.

On ouvre alors peu à peu la plaque de séparation soufflant de plus en plus fort par les deux rangées de tuyères jusqu'à ce qu'on atteigne une pression de $0^m.39$ d'eau.

Les charges suivantes s'élèvent à 500 kilogrammes de fonte, puis à 610 kilogrammes et finalement à 755 kilogrammes, charge normale, avec une charge constante de 50 kilogrammes de coke.

La dépense en coke est ordinairement de 10 à 12 pour cent et le déchet de fonte de 4 à 5 pour cent, chiffres d'ailleurs très-variables avec la qualité de la fonte et du combustible.

Admettant qu'on marche ordinairement à une pression de $0^m.36$ d'eau, on pourra lancer à un moment donné avec les deux rangées de tuyères un quantité d'air maxima de $328,36^{m3}$ par minute.

En se servant de la table de Neuschild [1], on voit que les 8 tuyères supérieures livreront. . . . . 109.44^{m3}

et les 4 tuyères inférieures livreront . . . . . 218.92^{m3}

Soit un total de . . . . . 328.36^{m3}

1. Voir à la fin le tableau I.

Digitized by Google

Il importe avec ces cubilots d'avoir un ventilateur indépendant, permettant de suivre les moindres changements de marche du four.

Les variations de pression augmentent la production, mais entraînent une diminution de température qu'on peut seulement compenser en se servant de bon combustible.

Des cubilots d'aussi grandes dimensions se recommandent lorsqu'on doit fondre rapidement une grande quantité de fonte.

Il conviendra d'y passer des fontes facilement fusibles, comme celles d'Écosse, un bon combustible et de marcher à forte pression.

XXIV. **Cubilots de Hinton.** — Le cubilot breveté en 1860 par G. Hinton a le même profil que les fours d'Ireland précédemment décrits. Ce four est représenté (pl. 103, figures 22 et 23).

Tout autour de la zone de fusion se trouve une caisse à vent divisée en deux compartiments par une cloison horizontale. De chacun de ces deux compartiments part une série de huit tuyères.

Les tuyères supérieures sont dirigées vers le haut et les tuyères inférieures vers le bas. On peut faire agir séparément chaque série de tuyères ou les deux ensemble en ouvrant alternativement ou à la fois les a pets dont sont munis les porte-vent qui débouchent dans chaque chambre. Ce système d'introduction du vent a permis d'obtenir une égale distribution du vent et d'activer l'allure du cubilot.

Hinton a construit un autre four où il pouvait fondre en un seul morceau des pièces impures de fer ou d'acier, des loupes de hauts fourneaux ou des blocs de fonte provenant de mortiers refusés par l'armée, de cylindres de machines à vapeur, de chabottes de marteaux-pilons, toutes pièces qu'il est souvent fort difficile de casser pour les passer au cubilot.

On suspendait la masse à fondre à une forte chaîne en fer forgé et on l'introduisait dans le four en l'entourant complétement de combustible. Dès que l'échauffement se produisait on la faisait descendre peu à peu jusqu'à la zone de fusion.

Sur la sole du four et au centre se trouvait un bloc cubique ou cylindrique de grès réfractaire cerclé en fer et garanti par un enduit composé de cailloux calcinés et broyés avec de l'argile, qui était appliqué de manière à donner à l'ensemble une forme pyramidale.

Tout autour se trouvait un canal circulaire avec deux rangées de

Digitized by Google

tuyères lançant le vent sur le sommet et la base de la pièce à fondre, alors qu'elle était posée sur le bloc.

On a pu refondre de cette façon des canons pesant environ cinq tonnes.

Le système employé pour descendre et assujettir les blocs de fonte n'est guère pratique et la dépense en combustible doit être considérable dans ce cubilot.

XXV. **Cubilot de Mackenzie.** — Ce cubilot employé dans l'Amérique du Nord est excessivement simple. Il se compose d'une cuve cylindrique terminée par des étalages.

Ces étalages sont soutenus par une couronne annulaire en fer et sont séparés des parois du creuset par une fente circulaire par laquelle l'air qui se trouve dans la caisse à vent entourant les étalages vient pénétrer dans le four.

L'appareil très-imparfaitement représenté (pl. 103, fig. 24) tirée du journal l'*Engineering*, repose tout entier sur des colonnes en fer de 0m.95 de haut. Pendant le travail, le creuset est fermé à l'aide d'une plaque à coulisse ou à charnière, garnie d'argile à l'intérieur.

Au-dessus de la porte de chargement, s'élève une partie conique se terminant par la cheminée.

Le système régulier et continu d'introduction du vent, à l'intérieur de ce cubilot, sera troublé dès que, par suite d'une négligence quelconque, il se formera à l'extrémité des étalages des dépôts de scories ou de fonte solidifiée venant obstruer la fente comprise entre les étalages et le creuset.

Après avoir décrit le four Krigar dans lequel l'air pénètre de la même façon, nous signalerons les avantages et les inconvénients de ce mode d'introduction du vent.

XXVI. **Cubilot de Krigar.** — Bien que le premier brevet de ce cubilot eût été pris en Angleterre, M. Dürre en revendique l'invention pour l'Allemagne en disant qu'il était installé et fonctionnait dans une fonderie de Henri Krigar près de Hanovre, avant la prise du brevet anglais.

Le four primitif de Krigar a été décrit sommairement dans l'*Engineer* 1867, 2e partie, p. 456.

Nous ne parlerons pas de ce premier appareil et nous donnerons

Digitized by Google

d'après M. Dürre quelques renseignements sur un cubilot de Krigar très-perfectionné qui est installé dans une des premières fonderies de Berlin.

Le profil de ce cubilot représenté (pl. 103, figures 25 à 28) est excessivement simple.

Il se compose d'une cuve cylindrique de $0^m.95$ de large et $2^m.25$ de haut, reliée par un étalage de $0^m.30$ de haut à l'ouvrage cylindre de $0^m.80$ de large.

L'ouvrage se termine par un creuset élargi à l'avant et à l'arrière. A l'avant il est relié par un conduit de coulée D, à un avant-creuset V. Cet avant-creuset est à peu près indispensable, car dans ce cubilot le coke descend très-rapidement sans être brûlé à la partie inférieure où il empêche d'y accumuler toute la fonte liquide dont on peut avoir besoin.

Tout autour du four se trouve la conduite circulaire K reliée à la soufflerie par des conduites se terminant par la colonne montante R qui est munie d'un clapet d'admission. Le vent après avoir circulé dans la couronne K se rend dans le four par les deux conduits A ménagés à l'avant et à l'arrière dans la maçonnerie.

Les conduits A ont une section de $0^m.36$ de long sur $0^m.08$ de large, les points où ils débouchent dans le four peuvent être observés par le trou de visée G placé assez haut pour ne pouvoir être atteint par la fonte liquide.

Deux trous de coulée de scories S à l'avant de chacun desquels sont des petites plaques de coulée, permettent d'enlever les scories de l'avant creuset à différents niveaux, et le trou de visée G', placé en face du conduit de coulée D, permet d'observer jusque dans les moindres détails le commencement de la fusion et l'accumulation de la fonte. Le fond du four peut être ouvert de façon à déverser les résidus du travail dans un chariot amené entre les colonnes qui le supportent.

On opère le travail dans ce cubilot de la façon suivante :

On chauffe tout d'abord légèrement avec un peu de charbon de bois l'avant-creuset V et environ cinq heures avant le soufflage, on met dans le four une petite quantité de coke qu'on laisse brûler lentement afin de bien échauffer le four.

Les deux premières charges de fonte sont de 400 kilogrammes, la suivante de 500 kilogrammes et les dernières de 750 kilogrammes ; la

Digitized by Google

dépense en combustible varie de 10 à 12 pour cent de fonte, allumage compris.

Au commencement il convient de souffler par le trou de coulée H jusqu'à ce qu'on voit apparaître en D, les premières gouttes de fonte liquide. On bouche alors le trou H avec de l'argile et on lance progressivement le vent par les conduits A.

D'après M. Dürre, la suppression des tuyères a permis de lancer l'air à une plus faible pression et à égalité de production avec un four à tuyères, un cubilot Krigar permet d'épargner un ouvrier fondeur. La température obtenue est bien uniforme et la fusion est très-active.

Le vent chauffé dans l'intérieur de l'appareil lui-même n'a entraîné aucun des inconvénients qui a fait renoncer à l'emploi de l'air chaud.

La fonte obtenue, possède un degré de liquidité tel, qu'on peut l'employer aux travaux les plus délicats. Certaines fontes, les fontes écossaises en particulier, y sont tellement échauffées, qu'on est obligé de les laisser refroidir avant de pouvoir les couler; ce four conviendra donc particulièrement pour la fusion des fontes très-réfractaires.

La fonte liquide ne restant plus en contact avec le coke qui a servi à l'emplissage, doit être moins altérée que celle des cubilots sans avant-creuset.

Enfin, dit M. Dürre, si l'on considère tous ces avantages et qu'on observe la facilité avec laquelle un cubilot quelconque peut être transformé selon le système Krigar, on ne s'étonnera pas de voir l'emploi de cet appareil se répandre aussi rapidement en Angleterre et en Allemagne.

Nous ne contestons pas les avantages de la suppression des tuyères au point de vue de la simplicité du travail, de la moindre perte de pression du vent, de la régularité avec laquelle le vent pénètre et de l'uniformité de la température qu'il produit en arrivant en nappe, mais nous croyons que ce mode de lancement du vent ne peut pas procurer une bonne utilisation du combustible.

Il ne permet pas en effet d'utiliser la chaleur que peut encore développer l'oxyde de carbonne comme lorsqu'on lance le vent d'une façon judicieuse à deux niveaux différents; en outre, avec la forme qu'on doit donner à la partie inférieure des fours Krigar, le refroidissement de la fonte liquide est beaucoup à craindre.

XXVII. **Cubilots de Wilson et de Richard Canham.** — On a

Digitized by Google

imaginé divers autres systèmes de cubilots sans tuyères, mais ils n'ont guère été employés ; nous citerons en particulier le fourneau à vent de Wilson et le cubilot de Richard Canham. Dans le four de Wilson, on a ménagé dans la maçonnerie deux canaux ou passages pour les gaz, qui communiquent de l'extérieur dans la zone de fusion et entre ces deux canaux un conduit ou rampant qui met en communication l'intérieur avec la cheminée. Le four chargé, la combustion inférieure appelle le vent par les deux canaux, et les produits de la combustion s'échappent par le rampant dans la cheminée.

Dans le cubilot de M. Richard Canham, on a ménagé, en dessous du point où s'opère la fusion, un espace libre qu'on ferme par des chaînes à claire-voie en briques réfractaires, et on a enveloppé tout le fourneau d'une chemise en tôle ouverte en bas, pour l'admission de l'air. Cette enveloppe va en rétrécissant à la partie supérieure où elle se termine, soit par des ouvertures annulaires, soit par un passage annulaire étroit débouchant à l'intérieur de la cheminée placée sur le sommet du four.

L'air admis dans l'espace ménagé dans le fourneau peut entrer à l'intérieur de celui-ci ou dans l'intervalle qui sépare l'enveloppe de la maçonnerie.

Dès que le four est chargé et mis en feu, l'air chauffé est dilaté dans l'enveloppe et s'échappe par le passage supérieur en produisant le tirage à travers toute la charge.

Un registre règle l'admission de l'air.

XXVIII. **Cubilot Woodward.** — Dans le cubilot Woodward, la cuve se termine par un cône en fonte, au haut duquel jaillit un jet de vapeur qui s'engage dans une cheminée cylindrique terminée par une partie évasée en tôle.

Dans l'ouvrage débouchent deux rangées de tuyères superposées. Le cubilot ne devant présenter d'accès à l'air intérieur que par les tuyères, l'ouverture de chargement est fermée par un registre placé au fond d'une trémie pouvant contenir une charge. Le diamètre du tuyau de vapeur est de $0^m,039$ et celui de l'ajutage de $0^m,02$. Ce tuyau est muni extérieurement d'un robinet régulateur.

La pression de la vapeur est de $6^k.65$ à $8^k,87$ par centimètre carré. Le jet de vapeur produit un tirage très-énergique, et par suite une combustion très-vive et une fusion très-rapide, ce qui entraîne une

Digitized by Google

certaine économie de combustible; enfin, il présente le grand avantage de supprimer l'emploi d'une soufflerie et de conduites d'air.

On a installé un certain nombre de ces cubilots en Angleterre, mais en France ils n'ont guère été appréciés.

A la fonderie de madame veuve Thiébault, à Paris, où M. Testud de Beauregard avait établi un four dont le tirage était produit de la même façon, on a renoncé à l'emploi de ce système, parce qu'il fallait surchauffer la vapeur dans un appareil spécial avant de la lancer dans le four, ce qui compensait en partie l'économie de combustible et de main-d'œuvre, et parce que le jet de vapeur en s'échappant dans la cheminée faisait beaucoup trop de bruit.

Parmi les divers cubilots installés en France, nous citerons : le cubilot fixe de Maillard, le cubilot de l'École d'Arts-et-Métiers d'Angers et les cubilots transformés par le système Voisin.

XXIX. **Cubilot fixe de Maillard.** — Ce cubilot, construit il y a environ 20 ans, a été décrit dans les moindres détails dans le Bulletin de la Société de l'Industrie minérale, t. IV.

La cuve se compose d'un cylindre qui tient lieu du creuset et de l'ouvrage d'un haut fourneau, d'un tronc de cône renversé formant les étalages, et d'un deuxième tronc de cône pour la cheminée supérieure.

Cette disposition du creuset ne permettra pas d'accumuler de grandes quantités de fontes de liquide. Dans les petits appareils, le diamètre de l'ouvrage, qui est de $0^m,48$, est trop étroit pour marcher avec deux tuyères opposées, et les tuyères superposées, qui sont distantes verticalement de $0^m,20$ à $0^m,25$ et $0^m,35$ au maximum, sont beaucoup trop rapprochées.

La partie inférieure du creuset jusqu'au-dessus des tuyères est seule établie dans une enveloppe. La cheminée en briques avec enveloppe de tôle repose sur la partie supérieure des étalages et sur 4 colonnes en fer, qui sont solidement établies sur la bride ou les pattes de l'enveloppe inférieure. Chacune des colonnes est terminée par un boulon qui traverse la bride inférieure de la cheminée, cette bride est comprise entre deux écrous placés sur chaque colonne. Cette disposition permet, après avoir enlevé les écrous supérieurs, d'élever la cheminée de quelques centimètres au-dessus des étalages en desserrant les écrous inférieurs.

Digitized by Google

La consommation du coke dans les cubilots Maillard, installés dans les fonderies nationales de Nevers et de Saint-Gervais, variait en moyenne de 10 à 11 pour cent de la fonte chargée et la quantité nécessaire à la fusion de 6 à 7 pour cent. Vu la forme et les dimensions peu avantageuses de ces appareils, on ne doit attribuer ces bons résultats qu'au soin exceptionnel avec lequel s'opérait le travail.

XXX. **Cubilot de l'École d'Arts-et-Métiers d'Angers.** — Ce cubilot, en service depuis l'année 1868, représenté (pl. 104, figures 29 et 30), du à M. Biesse, directeur de fonderie à l'École d'Arts-et-Métiers d'Angers. Les quatre tuyères inférieures sont munies de regards en verre coloré, qui permettent de suivre la marche de la fusion. Les quatre tuyères supérieures, dont le diamètre est au maximum de 55 millimètres, sont à une distance minimum de 650 millimètres. L'ouvrage a la forme d'un tronc de cône reposant sur sa grande base.

Cette forme a l'avantage de réduire la surface du combustible au point où l'acide carbonique en le rencontrant se transforme en oxyde de carbone; mais, d'un autre côté, elle a l'inconvénient de reporter la chaleur vers le haut du four au lieu de la concentrer à la partie inférieure.

D'après M. Biesse, sous les ordres de qui ce cubilot a été construit,

L'emplissage du four est de.	150	kil. de coke.
Les charges de fonte sont de.	500	—
Les charges de coke en moyenne de. . .	25	—

Le four peut fondre 4,000 kil. en une heure, l'indicateur de pression marquant 22 centimètres d'eau.

Pour l'ensemble de 22 fusions s'élevant à 53,265 kil. de fonte, il a été consommé 4,454 kil. de coke.

La moyenne de quatre années donne, quel que soit l'état des fours, une consommation qui ne dépasse pas 9 kil. 300 pour cent de fonte. Le coke n'est pas de première qualité et provient de charbons non lavés et de provenances diverses; il est fabriqué à l'École d'Angers dans un petit four d'une contenance de 250 kil. Le poids de l'hectolitre est de 36 kil.

XXXI. **Cubilots Voisin.** — Comme le précédent, le cubilot Voisin

Digitized by Google

ne diffère essentiellement des autres cubilots installés en France que par le mode d'introduction de l'air au moyen de deux rangées de tuyères superposées et entourées d'une caisse à vent, imitée de celles qui sont installées depuis longtemps en Allemagne et en Angleterre. Cette caisse en tôle, porte des regards munis de verres, qu'on peut facilement déplacer lorsqu'on veut ringarder et qui permettent d'observer la marche de la fusion. Cette disposition simplifie le travail et a permis de réaliser une grande économie de combustible grâce à la bonne position de la seconde rangée de tuyère dont le vent régénère l'oxyde de carbone formé autour des premières tuyères.

La caisse à vent, adoptée sur la plus grande partie des fours modifiés d'après le système Voisin, présente le grave inconvénient de ne pas permettre de lancer l'air par l'une ou l'autre rangée de tuyères ou par les deux alternativement, ainsi que cela se pratique sur les cubilots installés en Allemagne et en Angleterre qui sont représentés (pl. 103, fig. 17, 19 et 22).

Dans le but d'obvier à cet inconvénient, qui a toute son importance, l'orsqu'on veut obtenir de la fonte très-chaude dès le commencement de la fusion, ou qu'on veut utiliser la chaleur du cubilot pour passer à la fin de la journée une charge de fonte sans la recouvrir de combustible, les concessionnaires du brevet Voisin emploient actuellement une caisse à vent représentée (pl. 104, fig. 31 à 34).

Cette caisse entoure la première rangée de tuyères et communique avec les tuyères supérieures qui sont en nombre égal à celles de la rangée inférieure par des tubulures munies de robinets. De cette façon, il suffit d'ouvrir ou de fermer ces robinets, pour lancer l'air par les deux rangées de tuyères ou par la rangée inférieure seulement.

Cette disposition complique davantage le travail que le système adopté sur les cubilots anglais et allemands dont nous avons donné la description, mais elle permet d'ouvrir ou de fermer à volonté chaque tuyère de la rangée supérieure.

Ainsi, en cas d'embarras à une tuyère, au lieu de ringarder, il suffira de fermer le robinet correspondant, et la fonte n'étant plus refroidie par l'air de la tuyère entrera en fusion et disparaîtra. Au bout d'un certain temps on ouvrira le robinet et la marche normale sera rétablie. En outre, lorsque les tuyères supérieures seront fermées, les gaz de la combustion ne circuleront pas inutilement dans une partie de la caisse à vent.

Digitized by Google

Les dimensions des tuyères supérieures sont toujours comprises entre le quart et le tiers de celles des tuyères inférieures.

Ce système est complété par une disposition particulière pour l'emploi des hydrocarbures liquides dans les fours où l'on veut fondre de gros blocs de fonte. On espère que ce mode d'opérer, qui a permis de réaliser une économie notable de combustible dans les fonderies américaines, anglaises et belges où on l'a appliqué, donnera des résultats aussi satisfaisants dans les fonderies françaises où on l'expérimente en ce moment.

Ainsi qu'on le voit (pl. **104**, fig. **31** à **34**), le système adopté pour l'emploi des hydrocarbures, sur le cubilot Voisin perfectionné est excessivement simple. Il se compose de deux réservoirs placés au-dessus de la caisse à vent, et communiquant par le bas, au moyen d'un robinet et d'un ajutage avec deux des tuyères inférieures diamétralement opposées.

A la partie supérieure de chacun de ces réservoirs, sont établies deux tubulures, l'une servant à l'introduction de la matière dans le réservoir à hydrocarbures, et que l'on ferme par un autoclave, l'autre portant un tuyau. Ce tuyau vient déboucher dans l'intérieur du four, de façon à équilibrer au-dessus du liquide contenu dans le réservoir, la pression qui y arrive au-dessous, par le robinet et l'ajutage.

Un registre placé entre la tubulure et le tuyau intercepte la communication entre le réservoir et l'intérieur du four.

Lorsqu'on veut se servir des hydrocarbures comme combustible, on ouvre le registre et le robinet placé au-dessous. Le liquide descend alors par son propre poids jusqu'à la tuyère, et le vent l'entraîne dans l'intérieur du four, où il s'enflamme en dégageant une haute température.

XXXII. **Des cubilots portatifs.** — Différents types de cubilots portatifs ont été imaginés depuis celui de Launay, dont le profil est représenté (pl. **103**, fig. **14**) et qui est décrit dans les moindres détails dans un manuel du fondeur (*Manuels Roret*, 1854, t. I, p. 213.)

Nous signalerons en particulier :

Le cubilot locomobile du capitaine Maillard, employé à la fonderie nationale de Saint-Gervais.

Le cubilot de Wedding, installé à la fonderie Wedding de Berlin.

Le four de Spandau, installé à la fonderie de canons de Spandau. Ces appareils permettent d'effectuer directement la coulée de la fonte

Digitized by Google

dans les moules, mais leur construction est coûteuse et leur emploi ne se recommande guère que pour les fonderies où l'on a à faire journellement des petites réparations, où dans les fonderies installées d'une façon provisoire.

Le cubilot locomobile du capitaine Maillard, qui est décrit dans le Bulletin de la Société de l'Industrie Minérale, t. IV, 2e série, n'a rien de particulier.

Le four, d'une contenance de 60 à 100 kilogrammes, repose tout entier sur un chariot en fer qui doit être très-difficile à manœuvrer, par suite du poids de l'appareil. Sa consommation en combutible serait en moyenne de 14 pour cent.

XXXIII. **Cubilot portatif de Wedding.** — Ainsi qu'on le voit (pl. 104, fig. 33 et 36), ce four, de profil cylindrique, se compose de deux parties, qui peuvent parfaitement s'unir un peu au-dessous de l'unique tuyère dont il est muni. La partie supérieure repose en arrière, par une couronne-venue de fonte avec le manteau, sur deux colonnes qui soutiennent l'échafaudage de chargement et la cheminée et elle repose à l'avant, sur un rail fixé dans les murs de l'usine. La hauteur de la partie supérieure du four est de $2^m,02$, son diamètre intérieur de $0^m,38$ et le diamètre extérieur de $0^m,70$. La hauteur intérieure du creuset mobile est de $0^m.46$.

Le vent arrive à la tuyère, par une colonne montante, partant de la conduite principale. La partie inférieure du four porte sur les deux côtés des pivots permettant de la soulever ou de l'abaisser, et elle repose sur un chariot pouvant circuler sur des rails. Par précaution, on lute le joint des deux parties du four avec de l'argile pendant la marche.

XXXIV. **Cubilot portatif de la fonderie de canons de Spandau.** — Il existe, à la fonderie de canons de Spandau un four mobile dont le profil se compose d'un cylindre et d'un cône. (Voir les figure 37 et 38 pl. 104.)

La hauteur totale de la cuve est de $2^m,07$, l'ouverture de chargement A se trouve à environ $0^m,32$ au-dessous de l'ouverture du gueulard, de sorte que la vraie hauteur du four est d'environ $1^m,75$, le diamètre au gueulard est de $0^m,29$. L'intérieur du creuset mobile a une hauteur de $0^m,37$ et un diamètre de $0^m.40$.

Digitized by Google

On place le four sous un manteau de cheminée.

La partie supérieure D est immobile; elle repose sur une sorte de caisse *k* ouverte par devant et dans laquelle le creuset C entièrement dégagé de tous côtés est suspendu au moyen de pivots *g* à un support qu'on peut déplacer.

Ce support est formé de deux montants à peu près triangulaires reliés par les arbres *ff*, qui portent les rouleaux *d*, pouvant circuler sur les rails installés dans l'intérieur de l'usine.

Quand les deux parties du four sont séparées, on peut faire glisser le creuset en avant, de façon à opérer une ou plusieurs coulées en un point quelconque de la halle de coulée.

La tuyère est placée un peu au-dessus du plan de séparation des deux parties du four, et est inclinée suivant une pente d'environ 45° de façon à bien échauffer le fond du cubilot.

On aurait pu se servir de tuyères horizontales dont l'emploi est en général préférable, mais il faudrait alors pour échauffer le fond de l'appareil, relever la sole du cubilot ou mettre la tuyère plus bas, ce qui entraînerait une diminution de hauteur du creuset mobile.

Le système d'introduction du vent est très-compliqué. Il se compose d'un tuyau vertical G, dans lequel peut se mouvoir un clapet *b* qui permet de régler l'admission de l'air venant de la soufflerie.

Le tuyau G se termine par un coude E, portant un embranchement F qui se rattache directement au four au moyen d'un manchon et de vis.

Cet embranchement est fermé à sa partie supérieure par un couvercle *c*, qu'on peut déplacer facilement pour nettoyer la tuyère et qui porte un disque de verre permettant d'observer la marche de la fusion.

Digitized by Google

NOTE

SUR LE

PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DES BOIS

dit THERMO-CARBOLISATION

DE M. JOHN BLYTHE

PAR M. GEORGES LEROIDE.

Devant la difficulté chaque année plus grande d'approvisionner de bois de construction et surtout de traverses de voies, l'industrie et les Compagnies de chemins de fer, tout procédé sérieux de préparation des bois, pour en augmenter la durée et en améliorer les qualités, mérite d'être examiné avec soin et d'être appliqué ensuite partout où il est possible de le faire, par les ingénieurs et les directeurs d'établissements.

En effet, sans parler des lignes à construire qui représenteront encore au moins 10,000 kilomètres, il faut tous les ans approvisionner pour les réseaux exploités de la France seule un minimum de 1,500,000 traverses dans les trois essences employées presqu'uniquement (chêne, hêtre, pin des Landes et du Nord).

Ainsi, une des grandes Compagnies françaises emploie à son entretien, en ce moment, plus de 200,000 traverses chêne et près de 200,000 traverses pin des Landes. On peut, du reste, établir d'une manière générale que l'entretien annuel des voies françaises sera l'un dans l'autre du dixième des traverses posées — (en portant la durée moyenne du chêne à 12 ans, celle des autres essences à un peu moins de 10 ans, — et exceptant toutefois de cette appréciation la durée des bois créosotés); ce qui fait qu'au moment où toutes les lignes livrées

Digitized by Google

nouvellement seront arrivées à la période d'entretien, pour la seule longueur existant en 1877 de 22,000 kilomètres, dont une grande partie en double voie, il ne faudra pas compter, avec les conditions actuelles d'emploi des bois, moins de 4,000,000 de traverses à renouveler annuellement, sur les 40 à 45 millions de pièces posées.

D'un autre côté, dans les constructions de matériel roulant, l'agrandissement des réseaux et l'augmentation des trafics nécessitent la création et le remplacement d'un nombre considérable de voitures, pour lesquelles il faut réunir dans les ateliers des Compagnies ou de l'industrie (afin d'avoir des matériaux convenables), d'énormes quantités de bois de choix qui constituent un immense capital dormant.

On peut donc, sans être taxé d'exagération, prétendre qu'un mode de préparation assurant une plus longue durée aux traverses de chêne de bonne qualité, améliorant l'aubier de ce bois dont la destruction est rapide et modifiant assez profondément les bois de pins et de hêtre pour leur permettre un service aussi long que celui du chêne; qui en outre, tout en les préservant de la pourriture, rendrait l'emploi des bois de construction possible trois mois après leur débit en forêt, s'imposerait immédiatement à l'attention et mériterait des essais sérieux de la part des ingénieurs intéressés à son emploi.

Tel est le système de préparation que son inventeur, M. John Blythe, de Bordeaux, a nommé *thermo-carbolisation* des bois, parce que, sous la pression de quatre atmosphères environ, la chaleur produisant de vapeurs d'eau mélangées de créosote devient l'agent introducteur qui répand dans toute la masse du bois un principe essentiellement antiseptique, l'acide carbolique ou phénique, tiré lui-même des composés ligneux.

M. Blythe, bien connu d'un grand nombre d'ingénieurs et d'industriels, s'est occupé du problème de la préparation des bois surtout à Bordeaux et à Creil et dans les chantiers des Compagnies belges, viennoises et des chemins français, de l'Ouest, du Nord, du Midi et d'Orléans, soit par le sulfate de cuivre, soit par la créosote, et cela pendant une grande partie de son existence. Ayant livré aux Compagnies des millions de traverses préparées et fait de nombreuses quantités d'expériences, il possède une autorité réelle dans la question, et la pratique le porte à affirmer la valeur des améliorations qu'il prétend apporter aux bois. — Des préparations très-importantes ont lieu à Vienne pour les traverses de chêne du réseau Nord-Ouest autrichien; les traverses

Digitized by Google

préparées avec une grande régularité de pénétration par 3 kilogrammes d'huile lourde, sont posées sur les frontières de Saxe, et de l'Elbe au Danube.

Examen général des principales préparations en usage. — Afin de faire comprendre plus facilement la *thermo-carbolisation* des bois, nous allons, pour la comparer à ceux-ci, repasser sommairement ceux des principaux procédés dont les résultats pratiques sont déjà connus.

Préparations au sulfate de cuivre. — Ces préparations ont lieu : 1° Par le procédé *Boucherie*, qui consiste à injecter le sulfate de cuivre en remplacement de la séve en se servant de la force ascensionnelle de cette dernière pour entraîner la matière préservatrice; — on fait aussi pénétrer par pression de haut en bas le liquide dans les bois tendres (pins non écorcés, etc.). Il n'est alors possible d'agir que sur des bois frais coupés. 2° Par les procédés en vase clos, dans lequels, en général, après avoir fait le vide dans un cylindre, on introduit autour des traverses ou bois préalablement séchés, le sulfate de cuivre liquide, au moyen de pompes et à des pressions élevées.

Il s'en suit que dans toutes les parties les plus poreuses, la dissolution de sulfate de cuivre se substitue à la séve chassée *dans le procédé Boucherie*, ou se mélange avec la partie albumineuse de la séve *dans les procédés en vase clos*.

En tous cas le bois est divisé en deux parties : l'aubier plus ou moins injecté et bien souvent en excès, et le cœur absolument sans injection. Ainsi l'opération est incomplète, de sorte que : si, l'on fait entrer trop de sulfate, la traverse se détruit par l'oxydation sous le coussinet du double champignon ou sous le patin du vignole, et, si le sulfate n'est entré qu'imparfaitement, les parties non préservées pourrissent avec rapidité, formant alors des traverses creuses sans valeur quant aux attaches.

L'emploi du sulfate de cuivre est donc resté restreint; il est abandonné par les Compagnies de l'Ouest, de l'Est et de Paris-Lyon-Méditerranée, et maintenu par les Compagnies du Midi, d'Orléans, du Nord, pour les traverses de pin des Landes et du Nord et pour celles de hêtre.

Dans le procédé *Boucherie*, il n'y a donc qu'une action de substitution simplement mécanique; et, dans les divers emplois du sulfate,

Digitized by Google

sauf le but de la préservation atteint, à part quelques cas, les traverses n'ont subi aucunes améliorations dans leurs propriétés mêmes, au contraire.

Le fait de la destruction bien plus rapide qu'en temps ordinaire, dans de certaines conditions d'emplacements, de traverses sulfatées sous l'action de l'oxyde de fer est observé depuis longtemps par les agents de la voie. — Il est d'autant plus actif qu'il a lieu dans des tranchées ou parties de voies plus humides, et avec des balast pierreux et calcaires. Quand le sulfate est en excès, la traverse se trouve pourrie aux sections utiles, sous les rails, bien avant d'être altérée au milieu et dans les bouts.

Carbonisation superficielle des bois. —La carbonisation, appliquée surtout aux traverses de chêne, consiste dans la projection de vives flammes à la surface du bois.

Elle est très-défectueuse pour les traverses. Celles-ci se fendent profondément, quelquefois jusqu'au cœur, par le fait de la grande inégalité de température par laquelle passent les parties successives du bois; cela, souvent au point de nécessiter le boulonnage des bouts.

Les effets produits dans la voie sont les suivants : l'humidité, pénétrant dans les fentes, détruit le cœur qui n'est pas carbonisé avec plus de rapidité. La surface carbonisée des traverses n'offre pas de résistance, et la seule partie utilement modifiée par la flamme, sous la surface brûlée, est toujours si mince qu'elle est promptement détruite par les pressions et par le sabotage.

Ce procédé, quoique de beaucoup le moins coûteux (0f.30 à 0f.40 par traverse), est donc pour le cas qui nous occupe ici plus nuisible que utile. Il est, à l'heure actuelle, abandonné par la Compagnie d'Orléans, qui restait seule à l'employer.

Quelquefois les traverses sont carbonisées enduites de goudron : là encore l'action n'a lieu que sur les surfaces.

En France, les traverses de chêne, d'un prix si élevé, ne subissent que cette préparation défectueuse.

Préparations diverses et à la créosote. — Notons le fumage des bois de construction de véhicules, etc., demandant des installations coûteuses; et, passons l'emploi très-restreint du chlorure de zinc et du bichlorure de mercure, sels antiseptiques essayés en Angleterre,

Digitized by Google

pour arriver à l'emploi de la créosote (huile lourde de goudron de gaz) dont l'usage est presque exclusif en Angleterre, en Belgique, en Hollande et en Allemagne, et qui est aussi employée en France par les Compagnies de l'Ouest, de l'Est et de Paris-Lyon-Méditerranée pour les essences autres que le chêne.

A part certains cas, tels que son emploi dans les pays sablonneux, la ligne de Bordeaux à Bayonne, par exemple, sur la Compagnie du Midi, l'injection de la créosote par les procédés ordinaires a été reconnue efficace ; mais toujours à mesure que cette injection a été complète, et que toutes les parties des traverses étaient imprégnées de la matière antiseptique.

On a donc été contraint d'injecter les quantités de créosote largement en excès de ce qui est nécessaire à la conservation, pour assurer la pénétration de la matière en toutes les fibres du bois. Pour arriver à faire absorber cette grande quantité de créosote, on est forcé de faire sécher les traverses pendant 7 à 8 mois et même de les chauffer à l'étuve.

Le poids d'huile lourde pénétré, dans les préparations de traverses en hêtre, pour les Compagnies françaises, varie de 20 à 25 kilogrammes et plus.

Le prix de la matière, en mettant seulement 6 francs les 100 kilogrammes, entre donc pour 1f.20 à 1f.50 dans le coût de l'injection.

Au contraire, dans l'injection au sulfate de cuivre, on a généralement accepté la quantité de 500 grammes de sulfate dissous dans 25 à 30 litres d'eau, comme suffisant à l'injection d'une traverse.

La matière n'entre alors que pour 0f.35 dans le prix du traitement.

Il paraît, de prime abord, peu raisonnable d'employer 20 à 25 kilogrammes d'une matière volatile contenant 5 à 10 pour 100 d'acide phénique (un des antiseptiques connu le plus puissant) ; quand on n'emploie que 500 grammes de sulfate de cuivre, ne contenant actuellement qu'environ 100 grammes de cuivre pur, disséminé dans l'eau au moyen d'une faible quantité d'acide sulfurique. Mais on possédait la possibilité de disséminer ces 100 grammes de cuivre dans les pores d'une traverse, tandis que jusqu'à présent on n'a pas trouvé le moyen de disséminer l'huile lourde, sans employer de fortes quantités.

On a essayé d'employer la créosote, à l'état de vapeur, mais cet état ne se déclare qu'au-dessus de 300 degrés, et la condensation en huile arrive aussitôt que la température diminue. Or ce degré de chaleur

Digitized by Google

détruisait le bois; il était donc impossible d'employer la vapeur d'huiles lourdes.

Il est à croire que c'est la difficulté d'employer la créosote autrement qui a fait persister dans l'usage d'une aussi grande quantité d'huiles en comparaison du faible poids de sels métalliques injectés depuis que les préparations ont lieu.

L'emploi de la créosote, en vase clos, etc., tel qu'il existe, pénètre assez facilement, quand le bois est en état sec, l'aubier du chêne et du sapin (mais l'aubier seulement). Pour cette raison, plusieurs ingénieurs, en Angleterre, ont renoncé à créosoter leurs traverses en cœur de sapin rouge.

On créosote les demi-rondes en sapin et l'aubier de chêne, en Belgique et en Allemage. En France, on fait pénétrer assez efficacement au moyen du séchage et de l'étuvage, les traverses en bois de hêtre; mais le procédé est coûteux par l'emploi de grandes quantités, et onéreux par le degré de sécheresse qu'il faut obtenir avant de pouvoir faire l'injection.

J'arrive maintenant à l'un des derniers essais de perfectionnement de la créosote.

M. Blythe, qui s'est occupé longtemps de l'injection des bois par les procédés actuels et sur une grande échelle, a cru trouver, en 1870, une action chimique produite dans les fibres du bois baigné dans un atmosphère de vapeur d'eau phéniquée.

Il n'y a plus de doute, aujourd'hui, que cette action existe, et il sera possible quand la question aura été suffisamment étudiée, de vous présenter une théorie chimique à ce sujet.

M. Blythe, qui n'a pas cessé, depuis 1870, d'expérimenter l'emploi de la vapeur phéniquée pour le traitement des bois vient de publier son procédé de la *thermo-carbolisation*, qui rend l'emploi de l'huile lourde pour le traitement des traverses plus économique et plus pratique que tout autre procédé d'injection, et qui livrera à l'industrie les bois injectés pour tout emploi : ébénisterie, traverses, constructions de wagons et navales et fondations hydrauliques, etc.

Des expériences nombreuses ont conduit l'inventeur à déterminer la quantité d'acide phénique nécessaire à traiter un mètre cube de bois. Deux kilogrammes d'acide phénique de commerce sont suffisants non-seulement pour effectuer la destruction de tous les germes de pourriture; mais pour changer absolument la structure fibreuse d'un mètre

Digitized by Google

cube de bois, de manière à rendre le bois de hêtre, par exemple, coloré et dense à imiter les bois des Iles.

Le cœur de chêne, le cœur rouge de hêtre et tout autre bois est pénétré par le procédé de la *thermo-carbolisation* en employant seulement deux kilogrammes d'acide phénique brun de commerce, barbotés dans 15 à 20 kilogrammes d'eau et projetés dans l'appareil contenant le bois, par de la vapeur d'eau à 6 kilogrammes de pression.

L'appareil est aussi adapté pour employer :

1° L'huile lourde de goudron;

2° Le goudron de gaz ou coaltar, ou toute espèce de goudron minéral ou végétal; car l'efficacité de l'opération dépend de l'acide phénique contenu dans la matière barbotée.

M. Blythe emploie pour la préparation des traverses, 2 à 3 kilogrammes d'huile lourde de bonne qualité par pièce; toutefois une quantité plus forte peut être employée. — En se fixant pourtant sur l'observation suivante : qu'il ne faut pas exagérer la dose d'acide phénique, car l'action d'un excès de cet acide serre trop les pores du bois et produit des gerçures autour du cœur du bois, par suite de la contraction des fibres de l'aubier. — Il faudrait donc, quand on emploie la matière en excès, que celle-ci fût convenablement dosée, sous ce rapport.

Nota. — Postérieurement au dépôt de cette communication à la Société, M. Blythe a préparé du pin des Landes avec du coaltar, d'une façon suivie, et a obtenu des résultats aussi satisfaisants qu'avec l'emploi des huiles lourdes. Le goudron de gaz, dans lequel l'huile lourde n'est pas séparée par la distillation, constitue à l'état brut une matière moins volatile et se fixant avec plus de facilité. Le bain donné avec les produits de condensations laisse aussi une trace plus apparente dans tout l'aubier des traverses.

Description pratique du procédé de la thermo-carbolisation et de l'appareil employé pour la produire. — L'appareil ordinaire qui peut se démonter, se transporter de chantiers en chantiers d'approvisionnement par les voies ferrées, etc..., et venir ainsi travailler à pied-d'œuvre, évitant les frais de transport des bois dans un chantier unique, se compose de quatre parties distinctes et de la tuyauterie, qui sont (voir pl. 105) :

Digitized by Google

1° Une chaudière, montée sur roues, de 15 à 20 chevaux, à haute pression, verticale ou horizontale, avec enveloppe en tôle, alimentée par un injecteur. — Elle est destinée à donner par une seule prise *n* de la vapeur à 6 atmosphères environ.

2° Une petite chaudière horizontale, montée sur roues, avec fourneau ordinaire, nommée *bouilleur*. Elle sert de réceptacle au mélange d'eau et d'huile lourde ou d'acide phénique qu'il s'agit de mettre en ébullition et de vaporiser ensuite par un courant de vapeur d'eau.

3° Trois *cuves* ou réservoirs P, P′, P″, en tôle, à surface découverte, coutenant l'huile lourde, que l'on fait passer dans le bouilleur, suivant besoin, au moyen d'une pompe à pression; avec disposition de serpentins S, S′, S″, recevant de la vapeur pour réchauffer, agiter ou faire fondre la créosote.

4° Un appareil de préparation proprement dit, qui se compose :

De 3 cylindres, en tôle, ou fours A, A′, A″, de 1^{m}.20 de diamètre et 3^{m}.10 de longueur, avec dômes de vapeur surmontés de soupapes de sûreté, avec couvercles mobiles sur le derrière de l'appareil (ces couvercles s'engagent dans une rainure plombée, et au moyen d'un serrage de boulons à charnière, on peut faire un joint tenant la vapeur). Les cylindres sont enveloppés. Ils peuvent supporter une pression de de 6 kilogrammes. Ils contiennent le bois à traiter, et leurs dômes servent à emmagasiner un excédant d'huile lourde ou du mélange de cette matière avec les produits de la condensation, quand, dans une opération que nous décrirons, on désire baigner les bois injectés par le premier traitement et à constater la quantité de liquide absorbée pendant ce bain.

De deux longs cylindres en tôle B, B′, nommés *condenseurs*, ayant 0^{m}.65 de diamètre et 5 mètres de longueur, disposés perpendiculairement et à chaque extrémité des fours, et pouvant supporter une pression de 3 kilogrammes; ils contiennent de l'huile lourde et les résidus des opérations.

Nota. — Dans le cas des appareils fixes, les grands appareils de M. Blythe à Bordeaux, par exemple, les cylindres (de 1^{m}.85 de diamètre), sont entourés de carneaux en briques et réchauffés extérieurement par es gaz venant du bouilleur et de la chaudière.

La *tuyauterie* est formée de 11 groupes ayant chacun un usage particulier, soit :

Digitized by Google

Un tuyau *a* (0^{m}.015) d'arrivée de vapeur d'eau de la chaudière au bouilleur. Celle-ci venant barboter à la surface inférieure du mélange de créosote.

Un branchement *a'* (0^{m}.015) de cette prise de vapeur suit devant le fond des trois fours, avec trois coudes d'entrée pour l'introduction de la vapeur d'eau par le centre des fours.

Un tuyau *b* (0^{m}.033) et ses branchements, prenant la vapeur carburée à la surface du mélange du bouilleur et la déchargeant dans les trois fours par le même centre d'entrée que la vapeur d'eau directe, au moyen d'un dispositif de tuyauterie donné par la coupe MN; c'est-à-dire que la vapeur d'eau entre par un ajutage au milieu de la vapeur carburée, la divise, l'entraîne, lui donnant une direction unique en haut et en bas de chaque four, par les branches d'un tuyau en T.

Un tuyau *c* (0^{m}.019) et ses branchements, faisant communiquer le fond de chaque four avec la surface inférieure du bouilleur, pour le retour dans celui-ci des matières condensées des fours.

Un tuyau *d* (0^{m}.026) et ses branchements, partant des dômes de chaque four et les faisant communiquer entre eux, afin de pouvoir équilibrer la pression des vapeurs, d'un four dans l'autre.

Un tuyau *d'* (0^{m}.026) et ses branchements, soudé à l'extrémité du précédent, faisant communiquer chaque four avec les deux condenseurs, afin d'employer la vapeur des dômes à opérer la pression d'ascension du mélange liquide des condenseurs dans les fours, pour y baigner le bois.

Un tuyau *e* (0^{m}.040) et ses branchements, faisant communiquer les cuves avec les condenseurs pour charger ceux-ci de matières liquides carburées destinées au bain.

Un tuyau *f* (0^{m}.015) et ses branchements faisant communiquer le haut de chaque dôme des fours avec l'air extérieur, pour évacuer au besoin la vapeur des fours et ramener la pression atmosphérique, et servant à constater la hauteur supérieure du bain et à décharger le trop plein du liquide dans une cuve.

Un tuyau *g* (0^{m}.10) et ses branchements, faisant communiquer le bas de chaque dôme des fours avec l'air extérieur et servant à constater la hauteur inférieure du bain.

Six gros tuyaux, *h*, *h*, *h*... etc. (0^{m}.060) établissant la communication entre le fond des fours et le fond des condenseurs, et servant à

Digitized by Google

la condensation des vapeurs des fours ou à l'ascension du mélange liquide des condenseurs dans les fours.

Un système de tuyaux *i* (0,026), faisant suite aux deux extrémités des tuyaux *d*, et servant à faire communiquer la vapeur des dômes avec la créosote liquide des cuves, par les serpentins.

Enfin de toute la série de robinets et valves à amiante, nécessaires pour établir, fermer les communications susdites pour chacune des parties de l'appareil entre elles et séparément.

Des manomètres sont disposés sur la chaudière, le bouilleur et les trois fours.

Description d'une opération sur des traverses. — Les fours remplis de bois contiennent environ 25 grandes traverses de chemin de fer (2 mètres cubes) chacun. Le bouilleur reçoit la quantité nécessaire de goudron ou de tout produit contenant la proportion d'acide phénique utile; mais, bien plutôt et plus avantageusement d'huile de créosote de commerce pour tous les bois ordinaires et d'acide phénique du commerce pour les bois de choix.

(Rappelons qu'il faut 2 à 3 kilogrammes d'huile par traverse (soit une vingtaine de kilogrammes au mètre cube; et 2 kilogrammes d'acide phénique par mètre de bois de choix.)

Le bouilleur reçoit également 150 litres d'eau environ par mètre cube de bois, eau qui se mélange avec les produits.

Les condenseurs sont remplis d'une certaine quantité de goudron, d'huile lourde, etc., qui se confond ensuite avec les matières condensées dans les opérations. Ces produits servent au bain des bois traités quand on juge utile de les employer.

Supposons les communications fermées et le premier four A, isolé. On ouvre l'arrivée de vapeur d'eau au bouilleur, celle-ci barbote au fond du mélange et développe rapidement, à la surface, des vapeurs carburées dans lesquelles la diffusion de la créosote est complète.

(On peut s'assurer de ce fait, en ouvrant le robinet indicateur de vaporisation; il s'échappe un jet également gras et coloré par l'huile lourde divisée et suspendue dans la vapeur d'eau.)

Ouvrant l'une après l'autre et dans l'ordre suivant, l'arrivée des vapeurs hydro-carburées et du jet de vapeur d'eau venant de la chaudière à la pression de 5 à 6 kilogrammmes, ces vapeur pénètrent dans le cylindre par les deux branches du tuyau à T, décrit.

Digitized by Google

Les vapeurs mixtes se trouvent entraînées, disséminées par la projection du jet; elles attaquent le bois par toute sa surface, le pénètrent et la préparation commence. La pression des vapeurs qui n'était que de 2 kilogrammes environ dans le bouilleur, s'élève dans le four sous l'influence du jet à haute pression.

L'opération continue en ouvrant la communication entre le fond du four et le fond du bouilleur. Il s'établit, de suite, une circulation des vapeurs condensées et d'une partie de la séve chassée du bois, vers le bouilleur. Cet état de choses est maintenu jusqu'à ce que la pression soit de 4 kilogrammes dans le four.

Ce degré de température et de pression nécessaire est ordinairement obtenu en une demi-heure, et on le maintient un quart d'heure ou une demi-heure suivant les essences à traiter. La pression reste toujours plus faible dans le bouilleur.

La première et plus importante partie du traitement est accomplie, c'est la pénétration complète et jusqu'au cœur du pin des Landes et du Nord, du hêtre et du chêne, etc... Cette opération suffit pour presque tous les cas.

Voici quelques données pratiques sur la façon dont la pénétration s'accomplit : la pression des vapeurs carburées détermine leur introduction par toutes les surfaces à la fois des bois traités, et plus facilement par les surfaces sciées que par celles qui conservent leur aubier intact. Alors, sous l'influence de la chaleur, une combinaison chimique commence à s'accomplir, surtout entre l'acide phénique des matières carburées parfaitement divisées dans la vapeur de pénétration et les parties de la séve susceptibles d'affinité pour cet acide.

L'éjection des parties séveuses non combinées a lieu par les bouts des bois opposés au courant des vapeurs introduites, sous forme d'eau vaporisée, de gaz, de séve liquide et bouillante.

A cette température, grâce au courant continuel établi avec le bouilleur, de nouvelles vapeurs carburées arrivent sans cesse au four, la pénétration complète s'accomplit rapidement, les matières chassées cédant leur place aux vapeurs; et le bois, qui était chargé d'humidité au début de l'opération, finit par ne plus contenir d'eau libre. L'albumine restant est coagulée; l'acide phénique est combiné intimement avec les fibres du bois dans les cellules et avec les parties de séve non évacuées; elle communique à ce bois ses qualités astringentes et antiseptiques.

Digitized by Google

Un des indices de la fin de l'opération, surtout quand il s'agit de bois débités frais, consiste dans la siccité complète des bouts qui laissent échapper partie de la séve; c'est, en effet, la preuve que tout ce qui se trouve en excès et ne se combine pas a été chassé, et que, par suite, la combinaison est accomplie.

Premier nota. — Le bois de pin ne nécessite qu'une pression de 3 kilogrammes quand il est sec, et un peu moins d'une demi-heure d'opération.

Deuxième nota. — Un thermomètre à maxima scellé dans l'intérieur d'une pièce de bois atteint le degré de température correspondant à la tension de vapeur obtenue dans le cylindre à chaque fois que cette tension a été maintenue de manière à avoir une durée un peu constante; c'est-à-dire qui ne disparaisse pas aussitôt que le jet de vapeur est arrêté.

Manière d'achever une opération et d'en commencer une seconde. — On ouvre la communication supérieure entre le four préparé et le suivant. L'équilibre de pression s'établit rapidement. Puis, après avoir rechargé le bouilleur de la matière nécessaire au moyen de la pompe de la cuve, on ferme l'introduction des vapeurs combinées dans le premier four, en même temps qu'on l'ouvre dans le second.

On isole le four préparé A du four A′ et du bouilleur. Puis, faisant communiquer le fond du four A avec les condenseurs, il se vide dans ces derniers de toutes les matières condensées restantes et revient à la pression atmosphérique avec laquelle on peut le mettre en contact. Il ne reste plus qu'à déboulonner le couvercle, sortir les traverses et recharger pour une nouvelle opération.

La préparation du second four continue semblablement.

Bain donné au bois par le mélange des condenseurs. — Bien que le véritable procédé et sa partie la plus efficace résident dans la préparation des bois par les vapeurs combinées, on peut, surtout quand il s'agit de traverses, donner comme supplément de préservation des aubiers et des surfaces, un bain avec le mélange des condenseurs.

Reprenons au moment où, à la fin du traitement, l'équilibre est établi dans deux fours. On isole le four préparé, et, ouvrant la communica-

Digitized by Google

tion entre le dôme du second cylindre A′ et la surface des condenseurs, la pression qui est alors de 2 à 3 kilogrammes dans le four A′ fait remonter le liquide condensé mêlé aux huiles lourdes dans le four A. Ce liquide pénètre par toutes les surfaces amollies des bois d'autant plus profondément et en plus grande quantité qu'on augmente la durée et la force de la pression, et que les bois sont moins serrés. Car, on peut aussi opérer directement avec la pression de 5 à 6 kilogrammes de la chaudière, et faire absorber tout ce que le bois peut contenir; c'est-à-dire quelquefois jusqu'à 20 kilogrammes de matières par traverse.

Mais la pression ordinaire suffit très-largement pour fermer les pores du bois et compléter la préservation des aubiers et des surfaces.

Quantité de traverses préparées par jour. — Quand les opérations sont bien en train et consécutives, la préparation des 75 traverses des trois fours demande environ une heure et demie, et comme les chargements et déchargements se font pendant le temps des opérations, et qu'il est possible d'agir sur plusieurs fours, on prépare en douze heures, 500 traverses des essences les plus difficiles à traiter (chêne, cœur rouge de hêtre). A Bordeaux, on peut préparer dans le grand appareil de M. Blythe 1,000 à 1,200 traverses de pin des Landes par dix heures.

Observations diverses. — Les bois sortent des fours très-amollis, et peuvent facilement subir les pressions, les laminages susceptibles d'augmenter leur dureté et leur densité. On peut également leur faire prendre une forme courbée qu'ils conservent, et en agissant rapidement, un moulage simple.

Les bois traités durcissent vite au contact de l'air; les traverses baignées se sèchent en quelques heures et pourraient alors être immédiatement employées, sans salir les ouvriers plus que des traverses non préparées ne le feraient.

Toute entaille mettant à nu l'intérieur du bois se fonce rapidement au contact de l'air et brunit aux bords.

Tant que l'opérateur se contente d'employer la seule quantité d'huiles lourdes qui peut entrer en combinaison avec les composés du bois, et agit avec la rapidité indiquée, ceux-ci ne sont pas profondément changés d'aspect et de teinte.

Le bois imprégné dans toute sa masse devient un peu plus *dense*, se

Digitized by Google

pores sont plus *serrés*, il est plus *gras* à scier et à couper, et se polit facilement au frottement de l'outil.

Il se passe une contraction moléculaire quelque temps après l'opération; mais au bout de peu de semaines, les bois s'arrêtent et ne jouent plus sous l'influence des variations de la température.

Les pièces de bois suffisamment créosotées durcissent à l'air en vieillissant, et deviennent inattaquables par l'humidité.

Non-seulement les fibres ligneuses ne sont pas altérées, mais les épreuves à la torsion indiquent toujours une notable augmentation de résistance. Les épreuves de résistances à l'arrachement (faites avec des tire-fonds retirés des traverses) ont donné une augmentation sur les résultats ordinaires.

L'élasticité seule semble un peu diminuée. Du reste, l'aspect d'une coupe de bois n'indique aucune altération physique de celui-ci.

La présence de la créosote n'est pas démontrée par les réactifs. Il faut se rendre compte qu'elle est combinée chimiquement.

Le véritable contrôle de son emploi consisterait à vérifier le poids d'entrée et la qualité du produit, puis le poids du restant à employer, au bout de la série des opérations. On est certain que la différence a été employée dans les bois préparés, puisqu'aucune quantité de créosote n'est perdue, la presque totalité des dépôts de condensation faisant retour au bouilleur, et le restant — aux condenseurs.

Du reste tout autre procédé de contrôle pourrait être indiqué à M. Blythe qui l'accepterait.

On peut, en prolongeant les opérations arriver à donner au bois des teintes plus foncées et uniformes, de façon à varier les teintes et à l'embellir pour l'employer dans le meuble; mais la préservation n'est pas plus complète. L'expérience a même prouvé qu'en exagérant la longueur des opérations, la résistance du bois, sa valeur, par conséquent, arrivait à s'altérer.

L'odeur de la créosote d'abord assez vive après l'opération et qui tend à se développer dans les endroits renfermés, sous l'influence de la chaleur, et par le travail de la lime et de la scie, se perd au bout de quelque temps. Elle disparaît complétement dans les bois traités pour meuble. Cette odeur appartient surtout à la matière carburée qui peut être en excès; mais non à celle qui est combinée chimiquement.

Bien entendu, cette observation est justifiée quant à la première partie de l'opération obtenue par la vapeur carburée seulement; elle est moins

Digitized by Google

vraie pour les traverses, par exemple, qui subissent en outre le bain par pression de créosote unie aux matières condensées.

L'inflammabilité du bois traité n'est pas plus grande que celle des bois arrivés au même degré de sécheresse; cela, en raison du peu de créosote employée et surtout quand il n'y a pas eu bain. Même pour les traverses baignées, elle est également à un degré beaucoup plus faible que dans les autres procédés de préparation à la créosote.

A la rigueur, il serait, du reste, facile de baigner les bois de meubles ou de charpente dans les préparations connues préservatrices contre l'incendie, soit (avec le même appareil décrit) dans un condenseur spécialement préparé, soit en trempant les bois à leur sortie du four.

Je vous présente différents échantillons destinés à confirmer mes appréciations; l'un d'eux (n° 7), obtenu en suspendant l'opération, montre le mode de pénétration de la matière injectée par toute la surface, suivant ce qui a été dit plus haut. Les traces verdâtres que vous voyez à l'intérieur, indiquent que la traverse, en question, n'a pas été complétement préparée ou qu'on a employé du goudron dont le dosage en acide phénique était insuffisant. Cette espèce de végétation, qui se produit quelques jours après la sortie des fours est inhérente au bois de pin; et peut indiquer sûrement, quand elle ne s'est pas développée, une bonne préparation des traverses de cette essence.

Aperçus de quelques prix de préparations pour traverses. — Le prix de revient d'une traverse de toute essence (cubant $0^{mc}.085$ environ, en moyenne), comportant l'emploi de 2 kilogrammes de créosote du commerce, avec le bain à pression ordinaire, est de $0^{f}.60$, avec augmentation de $0^{f}.08$ à $0^{f}.10$ par kilogramme de créosote injectée en plus, suivant le prix des huiles auprès des chantiers de préparation.

Dans ces conditions, M. Blythe se charge des déplacements et de la conduite de sa machine.

Comparaison avec les autres procédés. — 1° Préparation dans toute leur masse de toutes les essences principales de bois: chêne, hêtre, pin des Landes, sapin du Nord, bouleau, avec la substance antiseptique par excellence, l'*acide phénique*.

Ce résultat obtenu dans ce seul procédé, permet de conclure à une durée beaucoup plus longue des bois et parfaitement normale dans toutes leurs parties.

Digitized by Google

2° Combinaison chimique d'un produit ayant une grande affinité pour certains composés du bois dont il est tiré, au lieu de la simple opération mécanique de quelques procédés qui peut altérer les cellules, et est pratiquée, dans plusieurs cas, avec des corps étrangers aux composés du bois.

3° Augmentation des principales qualités du bois, résistance à l'arrachement, force de fibres et conservation d'une grande partie de l'élasticité.

4° Simplicité et rapidité de la préparation. Sans opérations préliminaires, on peut agir immédiatement sur des bois frais coupés; tandis que dans la plupart des autres procédés, il faut sécher ou étuver les bois.

5° Moyen de préserver les aubiers par un bain superficiel d'huile de goudron liquide et de matières condensées avec des pressions variant de 2 à 6 kilogrammes; ainsi la préservation des aubiers existe comme dans les autres procédés et est faite plus rapidement et avec moins de matières.

6° Possibilité d'employer les bois dans la construction et le mobilier au bout de peu de mois de préparation après leur coupe en forêt, ce qui évite les grands approvisionnements et est inhérent à ce seul procédé.

7° Ce procédé très-efficace dans la préparation ordinaire à 2 kilogrammes avec bain, est donc, pour les traverses, au prix de 0ᶠ.60 l'une, plus élevé que la carbonisation (0ᶠ.30 à 0ᶠ.40), moins élevé que le procédé au sulfate en vase clos (0ᶠ.75 à 0ᶠ.80 environ), et beaucoup moins élevé que les préparations à la créosote usitées en France, qu'il est difficile d'évaluer à moins de 1ᶠ.50 à 2 francs.

Divers emplois possibles des bois préparés par la thermo-carbolisation. — Outre l'emploi dans les traverses de chemins de fer, dans les bois de construction pour wagons pour lesquels il supprimerait le procédé du fumage, la *thermo-carbolisation* donnant de la dureté et un très-grand excédant de durée aux bois ordinaires qui s'attaquent facilement par le champignon à l'humidité (le hêtre par exemple), permettrait l'usage de cette essence dans des cas nouveaux, ainsi, le bordage des navires.

Le chêne préparé trouve une application dans les pieux battus en

Digitized by Google

mer ou en rivière. Le sapin devient aussi bien plus résistant pour cet emploi.

Le pin des Landes devient excellent pour les traverses, et, comprimé, serait d'un service très-supérieur dans les pavages en bois.

Les lames de parquet peuvent se faire en bois préparés et comprimés.

Application au mobilier. — Enfin, un dernier usage qui pourra devenir de la plus haute importance est l'emploi du procédé dans les bois pour meubles ; car, en prolongeant l'opération raisonnablement dans le but de teinter ces derniers, on arrive à donner des couleurs diverses à la même essence, Ainsi, le hêtre prend les différentes teintes de l'acajou neuf ou vieux ; le chêne prend les différentes teintes du palissandre et du noyer d'Amérique.

On peut donc fabriquer des meubles (sans plaqué), se vernissant et se polissant très-bien, qui ne joueraient pas et seraient préservés de la destruction par l'acide phénique.

Ces meubles, faits avec des bois de France, augmentés dans une faible proportion, quant au prix de revient, auraient donc un avantage immense sur le mobilier courant, et rivaliseraient avec le mobilier de luxe.

Digitized by Google

NOTE

SUR UNE

FORMULE APPROCHÉE, MAIS TRÈS-SIMPLE

POUR

CALCULER LES PIÈCES EN FORME DOUBLE T

SOUMISES A LA FLEXION

PAR M. S. PÉRISSÉ.

Les Ingénieurs ont très-souvent à déterminer les dimensions qu'il convient de donner à une poutre métallique ayant la forme d'un double T, pour qu'elle puisse résister par flexion à des forces ou à des charges connues, sans dépasser un certain coefficient de travail par millimètre carré de section.

Ils ont à appliquer pour cela les formules de la résistance des matériaux et, dans le cas de la flexion plane d'une pièce prismatique soumise à l'action de forces transversales, la formule suivante :

$$\frac{RI}{v'} = \mu$$

sert à calculer les efforts de traction et de compression auxquels les fibres longitudinales sont soumises. Dans cette formule :

μ, est le moment fléchissant des forces extérieures ;

I, moment d'inertie de la poutre ;

v', distance à l'axe neutre de la fibre la plus fatiguée ;

R, pression longitudinale (positive ou négative) par unité de surface, ou autrement dit : coefficient de travail.

On calcule d'abord le moment fléchissant μ, et c'est, dans la plupart des cas, très-simple, parce que μ se présente presque toujours sous la

Digitized by Google

forme $\frac{Pl}{n}$, expression dans laquelle P désigne la somme des forces verticales ou poids agissant sur la poutre; l, sa portée ou distance entre appuis; et n, un nombre qui varie de 4 à 12, selon le mode de répartition des charges et selon la nature des réactions que les points d'appui exercent sur la poutre. μ étant trouvé, on se donne une section transversale pour la poutre métallique double ¡T ; on calcule $\frac{I}{v}$ dont la valeur est le plus souvent donnée par l'expression :

$$\frac{ab^3 - a'b'^3 - a''b''^3 - a'''b'''^3}{6b}$$

puis on tire la valeur de R.

Cette valeur ainsi trouvée pour R est inférieure ou supérieure au coefficient de travail qu'il convient de ne pas dépasser, tout en s'en rapprochant le plus possible. Il faut alors recommencer le calcul en se donnant une nouvelle section et procéder ainsi par tâtonnements jusqu'à ce qu'on ait considéré des dimensions qui conduisent, pour le coefficient R, à une valeur convenable.

Ce mode de calcul est très-laborieux; des erreurs peuvent être facilement commises dans la détermination des moments d'inertie et on n'arrive au résultat cherché qu'après avoir dépensé beaucoup de temps; or, il est très-souvent utile pour un ingénieur ou pour un architecte qu'il puisse, lui-même et rapidement, se rendre compte non-seulement des dimensions qu'il convient de donner à une poutre métallique, mais aussi du poids de cette poutre, afin de pouvoir établir, à mainlevée pour ainsi dire, le devis approximatif de la dépense.

Le but de cette note est de fournir une formule très-simple qui permet d'atteindre ce double but, tout en donnant, sans tâtonnements, un résultat suffisamment exact.

Avant de justifier cette formule aussi bien au point de vue théorique qu'au point de vue pratique, indiquons-la; elle est la suivante :

$$S = K\frac{\mu}{h}$$

S étant la section en millimètres carrés de la table ou semelle de la poutre. (Nous donnerons plus loin les différentes compositions de cette section.)

Digitized by Google

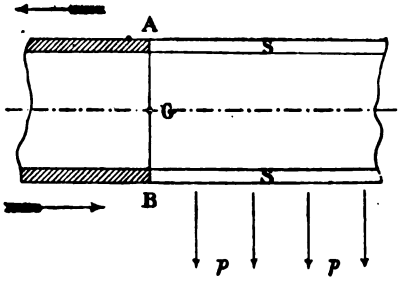
μ, moment fléchissant;

h, hauteur de la poutre;

K, un coefficient numérique.

Examinons cette formule au point de vue théorique, et rendons-nous compte de son degré d'exactitude. Pour cela considérons une poutre double T, de hauteur h, soumise à des forces extérieures p et composée de deux tables reliées entre elles par un système de croisillons, lesquels constituent une âme, de moment d'inertie nul, mais ayant pour effet de maintenir à la distance h les deux tables ou semelles. Supposons que toute la matière se trouve reportée haut et bas de façon à avoir une poutre théorique dont les tables sont très-larges et très-minces, de section S pour chacune d'elles et situées à une distance de l'axe neutre égale à $\frac{h}{2}$ dans le cas d'une poutre symétrique.

Si l'on considère une section verticale AB pour laquelle les forces extérieures, p, p, également verticales, donnent un moment fléchissant μ, on voit qu'il doit y avoir équilibre entre ces forces extérieures et les forces intérieures élastiques. Celles-ci sont réduites à un couple de deux forces horizontales également distantes de l'axe neutre et chacune de ces forces a évidemment pour expression S R, c'est-à-dire la section multipliée par le coefficient de travail par millimètre carré.



En prenant, par rapport à l'axe neutre G, les moments des forces qui se font équilibre, on a l'équation :

$$\mu = 2 S R \frac{h}{2} = RSh,$$

d'où :

$$S = \frac{1}{R} \frac{\mu}{h} = K \frac{\mu}{h}.$$

Dans les hypothèses que nous venons de faire, on obtient donc la formule proposée.

Digitized by Google

Pour juger de son degré d'exactitude, il faut montrer les différences qui existent entre les poutres employées dans la pratique et la poutre théorique considérée.

Le plus souvent les poutres métalliques se composent d'une âme reliée à deux plates-bandes au moyen de quatre cornières. Convenons d'appeler table, la portion de la poutre, en haut ou en bas, composée de la plate-bande, des deux cornières et de la partie de l'âme serrée entre ces cornières.

Nous voyons que les poutres diffèrent de la poutre théorique en ce que, d'une part, les différentes pièces dont se compose la table se trouvent à des distances de l'axe neutre plus faibles que la demi-hauteur de la poutre, et, d'autre part, en ce que l'âme possède un moment d'inertie très-appréciable qui la fait participer à la résistance. Les deux hypothèses que nous avons faites, savoir : *matière reportée entièrement aux deux extrémités de la section, moment d'inertie de l'âme supposé nul*, donnent donc lieu à deux erreurs. Mais ces erreurs sont de signe contraire et tendent à s'annuler l'une l'autre. En effet, par la première hypothèse nous avons augmenté la résistance en supposant les tables plus écartées de l'axe neutre qu'elles ne le sont en réalité, et par la deuxième hypothèse nous avons négligé une partie de la résistance, celle de l'âme de la poutre.

Eh bien! il arrive quelquefois que les deux erreurs se compensent. Alors, la formule devient exacte et K est égal à $\frac{1}{R}$ c'est-à-dire, $\frac{1}{6} = 0{,}166$, si nous prenons pour R, la valeur 6 kilogrammes, qui est, pour le fer, le coefficient de travail par millimètre carré le plus généralement admis pour des ouvrages soumis à des charges accidentelles donnant lieu à des vibrations. Mais, le plus souvent, les deux erreurs ne se compensent pas : aussi convient-il de prendre pour le coefficient K des valeurs un peu différentes de 0,166, soit en plus, soit en moins.

Déterminons les valeurs de ce coefficient dans les cas principaux de la pratique. Il suffit pour cela, de comparer pour un assez grand nombre de poutres de toutes formes et de toutes dimensions, quelles sont les différences que l'on constate en appliquant, soit la formule exacte $\mu = \frac{RI}{v'}$, soit la formule approchée $\mu = RSh$.

Digitized by Google

Si nous appelons Q un coefficient de correction par lequel il faudra multiplier la valeur approchée RSh pour la rendre égale à $\frac{RI}{v'}$ on aura:

$$\frac{RI}{v'} = Q \cdot RSh,$$

d'où :

$$Q = \frac{\frac{I}{v'}}{Sh}$$

Q sera égal à 1, lorsque les deux erreurs signalées plus haut viendront à se compenser.

Nous avons effectué les calculs comparatifs, et par suite déterminé le rapport Q, pour un grand nombre de poutres en forme double T qui ont été classées en quatre catégories, savoir :

1° Poutres à âme pleine, à 4 cornières avec plates-bandes ;

2° Poutres à âme pleine, à 4 cornières sans plates-bandes ;

3° Poutres en treillis, avec âme longitudinale haut et bas, 4 cornières avec ou sans plates-bandes ;

4° Poutres en treillis, avec 4 cornières seulement.

Première catégorie. Nous avons pris plus de cinquante formes de poutres à âme pleine, avec 2 cornières et plate-bande haut et bas, dont la hauteur totale varie depuis $0^m,35$ jusqu'à 2 mètres. Les valeurs moyennes trouvées pour Q sont les suivantes :

Poutres de. . . .	$0^m,35$ à $0^m,50$	de hauteur. .	Q = 0,82
—	$0^m,55$ à $0^m,70$	—	0,90
—	$0^m,75$ à $0^m,95$	—	0,97
—	$1^m,00$ à $1^m,20$	—	1,04
—	$1^m,20$ à $2^m,00$	—	1,11

Deuxième catégorie. Les calculs faits pour 45 poutres à âme pleine avec 4 cornières seulement, ont donné les chiffres suivants pour des hauteurs comprises entre $0^m,30$ et $0^m,70$; cette dernière hauteur devant être considérée comme un maximum pratique pour ce genre de poutres. D'un autre côté, il ne convient pas, sauf exception, de descendre en dessous de $0^m,30$ de hauteur pour une poutre rivée, parce que alors il serait plus rationnel et plus économique d'employer

Digitized by Google

l'un des nombreux profils des fers laminés double T que l'on trouve dans le commerce.

Poutres de. . .	$0^m,30$ à $0^m,40$	de hauteur. . .	$Q=0,81$
—	$0^m,45$ à $0^m,55$	—	$0,90$
—	$0^m,60$ à $0^m,70$	—	$0,98$

Troisième catégorie. Comme il s'agit ici de poutres en treillis, avec âme longitudinale haut et bas, pour l'attache des croisillons, nous n'avons considéré que des poutres ayant au moins $0^m,80$ de hauteur et jusqu'à $5^m,50$ de hauteur; et nous avons trouvé pour Q des valeurs très-uniformes s'écartant peu des moyennes suivantes :

Poutres de. . .	$0^m,80$ à $1^m,50$	de hauteur. . .	$Q=1,01$
—	$1^m,60$ et au-dessus.		$=1,08$

Quatrième catégorie. Poutres à croisillons, avec 4 cornières seulement, sans âme ni plate-bande. Les valeurs de Q sont sensiblement les mêmes depuis $0^m,50$ jusqu'à 1 mètre de hauteur; elles ne diffèrent pas entre elles de plus de 2 à 3 pour cent; mais ajoutons que les cornières ont été supposées d'autant plus fortes que la hauteur était plus grande, condition rendue nécessaire par la pratique, afin d'avoir, pour les poutres, une raideur horizontale proportionnée à la longueur. Les valeurs de Q sont :

Poutres de. . .	$0^m,25$ à $0^m,40$	de hauteur. . .	$Q=0,81$
—	$0^m,45$ à $1^m,00$	—	$=0,87$

Nous venons de déterminer les valeurs de Q pour un très-grand nombre de poutres en fer de formes très-variées, et ces poutres ont été composées suivant des proportions et des règles pratiques puisque la plupart d'entre elles ont été exécutées. Remarquons que Q varie depuis 0,81 jusqu'à 1,11. La valeur est plus petite que l'unité, lorsque la cause d'erreur provenant de la première hypothèse est prédominante sur l'autre, tandis que cette valeur dépasse 1 toutes les fois que,

Digitized by Google

au contraire, la prédominance appartient à l'erreur provenant de l'âme négligée.

Nous pouvons maintenant poser de nouveau la formule dont nous proposons l'emploi :

$$S = \frac{1}{QR}\frac{\mu}{h} = K\frac{\mu}{h},$$

K est donc égal à $\frac{1}{QR}$. Le tableau suivant en donne les différentes valeurs; la première colonne pour $R = 6^k$ par millimètre carré (de 1/5 à 1/6 de la rupture), et la deuxième colonne pour $R = 7^k,20$ correspondant à 1/4 ou 1/5 de la charge qui amènerait la rupture.

Tableau donnant les valeurs du coefficient K.

NATURE DES POUTRES EN TOLE, FORME I.	HAUTEUR DES POUTRES.	Coefficient de travail par millimètre carré.	
		$6^k,00$.	$7^k,20$.
1° Ame pleine, cornières et plates-bandes.....	0,35 à 0,50	0,200	0,170
	0,55 à 0,70	0,185	0,155
	0,75 à 0,95	0,170	0,140
	1,00 à 1,20	0,160	0,130
	1,20 à 2,00	0,150	0,125
2° Ame pleine et cornières, sans plates-bandes.....	0,30 à 0,40	0,205	0,170
	0,45 à 0,55	0,185	0,155
	0,60 à 0,70	0,170	0,140
3° En treillis, avec âme longitudinale, haut et bas, etc..	0,80 à 1,50	0,165	0,135
	1,60 et au-dessus.	0,155	0,130
4° En treillis, avec 4 cornières seulement.....	0,25 à 0,40	0,205	0,170
	0,45 à $1^m,00$	0,190	0,160

Rappelons que, dans la formule proposée, S est, pour un seul côté, en haut ou en bas, la *section* totale, en millimètres carrés, de la plate-bande des deux cornières et de la portion de l'âme serrée entre ces corniéres; ou bien la section d'une ou deux seulement de ces parties intégrantes de la poutre, si l'autre ou les deux autres n'existent pas dans la forme de poutre que l'on aura choisie.

μ — moment fléchissant.

h — hauteur de la poutre.

Digitized by Google

Nous avons déjà fait remarquer que, dans la plupart des cas, le *moment fléchissant* se présente sous la forme $\frac{PL}{n}$, P étant la charge entre les appuis, L la portée ou distance entre appuis, et n un coefficient numérique dont les valeurs principales se trouvent consignées ci-après :

	Valeurs de n pour μ maximum.		
	Pièce simplement appuyée à ses deux extrémités.	Pièce encastrée à une extrémité, appuyée à l'autre.	Pièce encastrée à ses deux extrémités.
Charge P au milieu de la portée..	4,0	5,3	8,0
Charge P au tiers de la portée...	4,5	5,4	6,7
Charge P uniformément répartie.	8,0	8,0	12,0

Quant à la *hauteur* de la poutre, on se la donne plus ou moins grande suivant les conditions à remplir et l'importance des charges. Elle est presque toujours comprise entre le dixième et le quinzième de la portée; soit donc égale aux 6 à 10 centièmes de la distance entre les appuis.

Application a quelques exemples de la formule.

Premier exemple. Soit une poutre de pont pour route, ayant 9 mètres de portée, et une charge de 2,500 kilogrammes par mètre courant.

$$\left.\begin{array}{l} P = 2\,500^{k} \times 9 = 22\,500^{k} \\ L = 9^{m},00 \end{array}\right\} \mu = \frac{PL}{8} = 25\,300^{kgm}.$$

Le genre de poutre le plus convenable pour le cas qui nous occupe est celui de la première catégorie, avec âme pleine et plates-bandes.

Soit $K = 0,17$ et $h = \frac{1}{12}\,9^{m} = 0,75$.

$$\text{Section } S = K\frac{\mu}{h} = 0,17\,\frac{25\,300}{0,75} = 5\,800 \text{ millimètres carrés.}$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{Soit cornières } 80 \times 80 \times 11 \text{ — section } 1\,640 \times 2 = 3\,280 \\ \text{— plates-bandes } 170 \times 10 \text{ — » } 1\,700 \times 1 = 1\,700 \\ \text{— âme de } 10^{mm} \text{ d'épaisseur » } 80 \times 10 = 800 \end{array}\right\} 5\,780^{m^2} = S$$

La poutre est donc parfaitement déterminée. Le poids par mètre cou-

Digitized by Google

rant, abstraction faite, bien entendu, des contre-ventements verticaux, se calcule très-rapidement :

Tables haut et bas.	5800 × 2 =	11600
Ame entre les tables.	570 × 10 =	5700
Section totale.		17300

Donc, poids par mètre courant 17 300 × 0,008 = 138 kilogr.

L'application de la formule exacte $\frac{RI}{v'} = \mu = 0{,}00415\,R$ donne pour R la valeur $\frac{25300}{0{,}00415} = 6^{k},1$ par millimètre carré. La formule approchée donne donc la même exactitude.

Deuxième exemple. Poutre formant solive-maîtresse de plancher, chargée de 1 800 kil. par mètre courant, et sur une longueur entre appuis de 6 mètres. On peut très-bien prendre une poutre sans plate-bande, avec une âme pleine et 4 cornières, de hauteur égale à 1/15 seulement de la portée, et la faire travailler à 7 kilogrammes environ.

$$\left.\begin{array}{l} P = 1800 \times 6 = 10800^{k} \\ L = 6^{m},00 \end{array}\right\} \mu = \frac{PL}{8} = 8100^{kgm}$$

$$S = K\frac{\mu}{h} = 0{,}17\,\frac{8100}{0{,}40} = 3440 \text{ millimètres carrés} = S.$$

Cornières 75 × 75 × 10	— section	1400 × 2 =	2800	3475
Ame 400 × 9	»	75 × 9 =	675	

Le poids s'obtient de suite par une addition et une multiplication.

Tables haut et bas.	3440 × 2 =	6880
Ame entre les tables.	250 × 9 =	2250
Section totale.		9130

Poids par mètre courant 9 130 × 0,008 = 73 kilogrammes.

L'application de la formule exacte donne pour le coefficient de travail R la valeur $\frac{8100}{0{,}00116} = 7$ kilogrammes par millimètre carré. Il fallait s'y attendre, puisque nous avons pris pour K le chiffre de la dernière colonne du tableau correspondant à un travail de $7^{k}20$.

Troisième exemple. Il s'agit de calculer une pièce de charpente de

Digitized by Google

fer, apparente, ayant 7 mètres de portée avec une charge de 1 200 kilogrammes par mètre courant; c'est bien ici le cas d'employer une poutre en treillis, avec 4 cornières seulement. Hauteur = 0,55 et K = 0,19.

$$\left.\begin{array}{l} P = 1\,200 \times 7 = 8\,400^{k} \\ L = 7^{m},00 \end{array}\right\} \mu = \frac{PL}{8} = 7\,350^{kgm}$$

$$S = K\frac{\mu}{h} = 0,19\ \frac{7\,350}{0,55} = 2\,540 \text{ millimètres carrés} = S;$$

cette section est obtenue par des cornières $70 \times 70 \times 10$, qui donnent $1\,300 \times 2 = 2\,600$.

Pour calculer le poids, on double la section S, et on l'augmente d'environ un tiers pour tenir compte des croisillons formant âme en treillis. La poutre ci-dessus pèsera donc

$$(5\,200 + 1\,600) \times 0,008 = 55 \text{ kilogr.}$$

Comme pour les deux premiers exemples, l'application de la formule exacte montre que par la formule simple on obtient une exactitude bien suffisante dans la presque totalité des cas de la pratique.

Nous avons cru utile de signaler aux ingénieurs une formule que nous avons eu l'occasion d'appliquer très-souvent depuis plus de 15 ans pour calculer rapidement une poutre en fer soumise à la flexion, sans avoir à passer par une série de calculs de moments d'inertie toujours compliqués et pouvant donner lieu à des erreurs d'opération importantes.

Avec la formule proposée, quelques simples multiplications et divisions suffisent pour déterminer non-seulement toutes les dimensions de la poutre, mais aussi son poids par mètre courant.

Digitized by Google

ORGANE DU PROGRÈS DES CHEMINS DE FER.

PAR HEUSINGER DE WALDEGG.

Année 1877.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **M. N. SERGUEEFF.**

Ier CAHIER.

1° Commission d'examen des attelages de wagons.

2° Construction et exploitation du chemin de fer du port d'Altona, par M. Tellkampf, d'Altona.

3° Appareil de compensation et de répétition des signaux de gare, par M. Thomas.

4° Considération sur les pointes et les cœurs de croisement, par M. de Semmelroth.

5° Durée des rail en fer, par le Dr Röhrig, de Hanovre.

6° Détermination des dimensions des lumières dans un cylindre de locomotive, de M. Koch.

7° Wagon de cuisine du Chemin de fer de l'empereur Ferdinand (Autriche), par M. Becker, de Vienne.

8° Moyen d'empêcher le déplacement des feuilles de ressort des locomotives, de M. Middelberg, de Zwolle.

9° Nouveau levier de changement de marche avec vis de rappel, par M. Mannhart, de Mödling.

10° Presse-étoupe à garniture métallique, employé dans les chemins de fer hollandais, par M. Middelberg, de Zwolle.

IIe CAHIER.

1° Appareil pour mesurer la vitesse des locomotives, brevet Dato.

2° Sur l'emploi des sabots de freins en acier, par le Dr Röhrig, de Hanovre.

3° Notions sur la construction du chemin de fer de la vallée de Rench (Appenweier Oppenau), de M. Baumeister.

4° Diagramme des courbes de raccordement, de M. H. Vojacek, de Karlstein.

5° Couverture en bois et ciment pour gare à marchandises, de M. Badeker, de Bromberg.

6° Moyen d'éloigner les mites des crins de chevaux, de M. Middelberg.

7° Calage des roues sur la fusée au moyen de l'eau chaude, de M. Schubert, de Kowroff (Russie).

8° Attelage fixe du tender à la locomotive, de M. Borries, de Hanovre.

Digitized by Google

9° Injecteur Korting pour l'alimentation des locomotives avec l'eau chaude.

10° Ventilation des wagons, de M. Schmidt, de Ludwigs-Hafen.

11° Rapport au ministre du commerce du gouvernement autrichien sur les chemins de fer américains, par M. Kupka.

12° Les chocs sur les rails de la voie, par M. Schmidt, de Vienne.

13° Attelage à vis breveté, par M. Becker, primé par l'administration des chemins de fer allemands.

IIIe CAHIER.

1° Indication graphique des vitesses, des pentes et des courbes de la voie des chemins de fer, par M. Clauss, à Brunswick.

2° Dispositions pour la ventilation des wagons à voyageurs recueillies par l'administration des chemins de fer de l'empire allemand.

3° Rapport au ministre du commerce du gouvernement autrichien sur les chemins de fer américains, par M. Kupka (*Suite*).

4° Remarques sur les conditions imposées pour la fourniture des rails en acier du Dr Röhrig.

5° Mesureur du travail construit par M. Killiches, communication de M. Gluck.

6° Échelle métrique des pas-de-vis par M. Tilp, de Vienne.

7° Emploi des bagues durables pour tubes de locomotives M. Pfeil, de Ostrau.

8° Signal d'aiguille par M. Schulze, de Berlin.

9° Communication entre le changement de voie et le signal d'entrée en gare établi sur la ligne de Strasbourg-Lauterbourg, par M. Beemelmans, à Strasbourg.

10° Considération sur les essais de traction du 30 novembre 1876 sur la ligne Wädensweil-Einsiedeln (système Wetli), par M. Abt, d'Aaran.

11° Notice sur le chauffage à vapeur des wagons, par Auton, de Darmstadt.

12° Proposition d'une statistique de rails, par M. Pollitzer, de Vienne.

IVe CAHIER.

1° Questions techniques élaborées par l'administration des chemins de fer de l'empire allemand.

2° De l'explosion des chaudières (d'après les observations de l'accident arrivé à la locomotive Gandersheim), par le Dr Scheffler, à Brunswick.

3° Signal d'aiguille et de gare de la station Calau sur la ligne de Berlin à Gorlitz et Halle, Sorau-Guben, par M. Hattemer, de Berlin.

4° Chariot roulant mû par corde, par Leonhardi, de Nippes, près Cologne.

5° Graisseur américain à vapeur, par M. Schaltenbrand, de Berlin.

6° Disposition pour la vidange des locomotives, par M. Gross, de Aalen.

7° Causes et suppression des entraînements d'eau dans les chaudières locomotives, par M. Oelert, de Nippes, près Cologne.

Digitized by Google

8° Attelages Borries, Wilfert et Polonceau, par Tilp, de Vienne.

9° Rapport au ministre du commerce du gouvernement autrichien sur les chemins de fer américains, par M. Kupka.

10° Dispositions pour une statistique de rails en acier, par M. Pollitzer, de Vienne.

11° Armoire ronde pour billets, de M. Hartmeyer.

12° Nécrologie de M. Sorge.

V° CAHIER.

1° Pièce de rechange pour nouvel attelage Steinhaus, fabricant à Cabel.

2° Graissage des roues de devant d'une locomotive, par M. Mahla, de Munich.

3° Influence de la vitesse sur la sécurité des trains, par M. Scheffler, de Brunswick.

4° Notice sur les meules en émeri, par le Dr Röhrig, de Hanovre.

5° Sur les fusées et boîtes à graisse lubréfiées par l'huile et garnies de corps élastiques, comme : laine, copeaux ou varech.

6° Détermination de la vitesse convenable à donner aux trains militaires, par M. Koch, de Dortmund.

7° Changement de voie, système Hohenegger.

8° Lavabo pour wagon, par M. G. Röder, de Darmstadt.

9° Nouvelle disposition de coulisseau pour locomotive, par M. Urguhart.

10° Wagon à bestiaux et boîtes à roulettes pour petits bestiaux, par M. Brix, de Chemnitz.

11° Chemin de fer d'intérêt local, ligne de Neumunstre-Heide-Tonning.

VI° CAHIER.

1° Nouveau profil du rail en acier de la ligne de Breslau-Schweidnitz-Fribourg, par Fein.

2° Plan incliné mû par cable de la forteresse Glatz (Silésie), par M. Wickfeld, de Berlin.

3° Attelage de secours pour wagon, système Surth.

4° Épreuve des rails en aciers, par M. Van-Hamel, de Bruxelles.

5° De l'emploi du bronze d'acier, par M. Paulus, de Stuttgart.

6° Rails pour tramways, système Culin.

7° Recherches sur la sécurité des trains dans le passage des croisements, par M. Kopka, de Magdebourg.

8° Longuerines en fer, système Hilf.

9° Soupape de sûreté manométrique, système Helwig et Kayser.

10° Remarques sur la ventilation des wagons, par Schmidt, de Ludwigshafen-sur-le-Rhin.

11° Cécité partielle pour les couleurs rouges et vertes.

Paris. — Imprimerie E. Capiomont et V. Renault, 6, rue des Poitevins.

Digitized by Google

J DR

s, en u

TABLEAU I.

0,0	0,125	0,130	0,135	0,140	0,145	0,150
COUPE						
8	28	122,71	132,73	143,14	153,94	165,13	176,71
		13,50	14,60	15,75	16,94	18,17	19,44
		19,10	20,65	22,28	23,96	25,70	27,50
		27,02	29,22	31,51	33,89	36,35	38,90
		33,06	35,80	38,60	41,51	44,53	47,66
		38,22	41,35	44,59	47,95	51,43	55,04
		42,74	46,23	49,86	53,62	57,52	61,54
		46,83	50,66	54,63	60,75	63,02	67,44
		50,60	54,73	59,02	63,47	68,09	72,86
		54,11	58,52	63,11	66,87	72,81	77,92
		57,40	62,09	66,95	72,01	77,24	82,66
		60,52	66,98	70,60	75,92	81,44	87,15
		66.33	71,74	77,37	83,21	89,26	95,51
		71,64	77,53	83,61	89,93	96,45	103,22
		76,66	82,92	89,42	96,17	103,16	110,39
		81,35	87,99	94,90	102,05	109,47	117,15
		85,80	92,80	100,07	107,62	115,45	123,54

Paris. — Impr. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1877)

N° 44

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Locomotives* (*Application du système Compound aux machines*), par M. Mallet (séances du 2 novembre et 7 décembre, pages 785, 826 et 852).

2° *Équations générales de l'équilibre d'une pièce courbe*, par M. de Dion (séance du 2 novembre, page 797).

3° *Brevets d'invention en Allemagne* (*Loi sur les*), par M. Barrault (séance du 16 novembre, page 811).

4° *Hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson*, note de M. Gazan, communiquée par M. Cornuault (séance du 16 novembre, page 818).

5° *Puissance dynamique des gaz* (*Utilisation de la*), lettre de M. Quéruel (séance du 16 novembre, page 822).

6° *Ferro-manganèse aux hauts fourneaux de Saint-Louis*, par M. Jordan (séance du 7 décembre, page 826).

7° *Machine à tricoter*, par M. Régnard (séance du 7 décembre, page 828).

Digitized by Google

8° *Pont du Douro*, construit par la maison Eiffel et Cie, communication de M. Seyrig (séance du 7 décembre, page 831).

9° *Téléphone*, par M. Niaudet (séance du 7 décembre, page 839).

10° *Situation financière de la Société*, par M. Loustau, trésorier (séance du 21 décembre, page 849).

11° *Elections des membres du Bureau et du Comité* (séance du 21 décembre, page 851).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Wyse, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Etudes de la Commission internationale d'exploration de l'isthme du Darien* (*canal interocéanique*).

Du Ministère des Travaux publics, un exemplaire de la *Statistique centrale des chemins de fer français, situation au 31 décembre* 1876.

Du Ministère des Travaux publics d'Italie, un exemplaire de la *Relazione statistica sulle costruzioni e sull'esercizio delle strade ferrate italiane, année* 1876.

De M. G.-H. Frost, ingénieur, un exemplaire d'un ouvrage de M. Baldwin Lathan C.-E., intitulé : *Sanitary Engineering a Guide to the construction of works of Sewerage and Housse drainage with tables for facilitating the calculations of the Engineer.*

De la Direction générale des douanes, un exemplaire du *Tableau général du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères, année* 1876.

De M. Vauthier, membre de la Société : 1° deux exemplaires de son rapport sur l'*ensemble du chapitre XV du budget des dépenses pour l'exercice de* 1878 (voie publique) ; 2° deux exemplaires de son rapport sur le *projet de cahier des charges du bail de la voirie de Bondy ;* 3° deux exemplaires de la *rédaction nouvelle des articles* 19 *et* 29 *du projet de cahier des charges de la mise en adjudication du bail de la voirie de Bondy.*

De M. Salomon, membre de la Société, un mémoire sur les *Caisses de secours et de prévoyance des ouvriers mineurs en Europe.*

De M. Gonin, ingénieur, un exemplaire de son *Manuel pratique de construction.*

Digitized by Google

De M. Desnoyers, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un *Gisement d'éléphants et d'autres mammifères fossiles découvert dans le bassin de la Seine au nord de Paris.*

De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire du tome IIIe de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.*

De M. Maxwel-Lyte, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur les *Procédés de chloruration acide.*

De M. Niaudet, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité élémentaire de la pile électrique.*

De M. Fauquet, membre de la Société, un exemplaire de ses conférences faites au cercle Rouennais de la ligue de l'enseignement sur les *Avantages que présente l'emploi des machines relativement à l'usage direct des forces de l'homme.*

De M. Victor Prou, ingénieur civil, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *La Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie.*

De M. Melsens, membre de l'Académie des sciences de Belgique, un exemplaire de son ouvrage sur les *Paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples.*

De M. Seyrig, membre de la Société, un mémoire sur le *Pont du Douro*, construit par la maison Eiffel et Cie.

Académie royale des Lincei, les numéros de leur publication.

Academy américan of arts and sciences, le numéro de leur bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne, les numéros de septembre et octobre 1877.

Annales industrielles, les numéros de septembre et octobre 1877.

Annales des ponts et chaussées, les numéros de juillet et août 1877.

Annales des mines, le numéro de la 8e livraison de 1877.

Annales du Génie civil, les numéros de septembre et octobre 1877.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées, les numéros de septembre et octobre 1877.

Annales de la construction (Nouvelles), les numéros de septembre et octobre 1877.

Annales des chemins vicinaux, les numéros de septembre et octobre 1877.

Digitized by Google

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, le numéro de son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, le numéro de son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, les numéros de septembre et octobre 1877 de son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, les numéros 3 et 4 de son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine, les numéros de novembre et décembre 1877.

Canadian Journal of science, litterature, and history, le numéro d'avril 1877.

Comité des forges de France, les numéros 129 et 130 du bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, les numéros de septembre et octobre 1877.

Courrier municipal (journal), les numéros de septembre et octobre 1877.

Dingler's Polytechnisches Journal, le numéro de leur bulletin.

Écho des Mines et de la Métallurgie (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Écho Industriel, les numéros de septembre et octobre 1877.

Économiste (L') (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Encyclopédie d'architecture, les numéros de septembre et octobre 1877.

Engineer (*The*) (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Engineering, les numéros de novembre et décembre 1877.

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago), les numéros de septembre et octobre 1877.

Gazette des Architectes, le numéros de septembre et octobre 1877.

Gazette du Village, les numéros de juillet et août 1877.

Institution of civil Engineers, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1877.

Institution of Mechanical Engineers, les numéros du troisième trimestre 1877 de son bulletin.

Digitized by Google

Institution of Mining Engineers americans, les numéros de leurs *Transactions*.

Iron of science, metals et manufacture (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*), le numéro 1 de l'année 1877.

Journal d'Agriculture pratique, les numéros de novembre et décembre 1877.

Journal des Chemins de fer, les numéros de novembre et décembre 1877.

Houille (*La*) (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, les numéros de juillet et août 1877.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, les numéros de juillet et août 1877 de son bulletin.

Mondes (*Les*) (revue), les numéros de novembre et décembre 1877.

Moniteur des chemins de fer (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Moniteur industriel belge, les numéros de novembre et décembre 1877.

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture, les numéros de septembre et octobre 1877.

Moniteur des travaux publics (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Of the American Society of Civils Engineers Journal, les numéros de novembre et decembre 1877.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (journal), le numéro 5 de 1877.

Portefeuille économique des machines, les numéros de octobre et novembre 1877.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, les numéros de 1876 et 1877.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions*, les numéros de novembre et décembre 1877.

Réforme économique, les numéros de novembre et décembre 1877.

Digitized by Google

Revue métallurgique (*La*), les numéros de septembre et octobre 1877.

Revue maritime et coloniale, le numéro de juillet et août 1877.

Revue d'architecture, les numéros 9 et 10 de l'année 1877.

Revista de obras publicas, les numéros de septembre et octobre 1877.

Revue des Deux-Mondes, les numéros de novembre et décembre 1877.

Revue horticole, les numéros de novembre et décembre 1877.

Revue universelle des mines et de la métallurgie, le numéro de mai et juin 1877.

Semaine des constructeurs (*La*) (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Semaine financière (journal), les numéros de novembre et décembre 1877.

Société de Physique, le numéro de son bulletin du quatrième trimestre de l'année 1877.

Société of télégraph Engineers (Journal of the), les numéros 5 et 6.

Société des Ingénieurs anglais, les numéros de leurs *Transactions* pour l'année 1877.

Société industrielle de Reims, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre 1877.

Société industrielle de Mulhouse, les numéros de juillet et août 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin du quatrième trimestre de 1877.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, le numéro du quatrième trimestre 1877 de son bulletin.

Société d'encouragement, les numéros de novembre et décembre 1877 de son bulletin.

Société de géographie, les numéros de novembre et décembre 1877 de son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, les numéros du quatrième trimestre 1877 de son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, les numéros du quatrième trimestre 1877 de son bulletin.

Digitized by Google

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, le numéro du quatrième trimestre 1877 de son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, le quatrième numéro de son bulletin de 1877.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, les numéros de son bulletin de septembre et octobre 1877.

Société scientifique industrielle de Marseille, le numéro du quatrième trimestre de 1877 de son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, les numéros 5 et 6 de 1877 de son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, le troisième numéro de 1877 de son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, le tome XXIX de la quatrième série de son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, les numéros du quatrième trimestre de 1877 de leur *Revue périodique*.

Société industrielle de Rouen, le numéro du quatrième trimestre de l'année 1877 de son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, le quatrième numéro de son bulletin.

Société des Etudes coloniales et maritimes, le numéro de son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, les numéros 3 et 4 de son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, le numéro du quatrième trimestre de 1877 de son bulletin.

Sucrerie indigène (La), par M. Tardieu, les numéros de septembre et octobre 1877.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, les numéros du quatrième trimestre 1877 de son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, les numéros de septembre et octobre 1877 de son bulletin.

Digitized by Google

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de novembre :

MM. Belin, présenté par MM. Badois, E. Belin et Mallet.
Chanoit, présenté par MM. Jonte, Hallopeau et Rubin.
Armand Delille, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Mallet.
Denize, présenté par MM. Adhemard, Colle et Ivan Flachat.
Llatas, présenté par MM. Bourson, Cornualt et Marco.
Martin, présenté par MM. de Bracquemont, Callon et Gaudry.
Moreau, présenté par MM. Bourdais, Contamin et Demimuid.
Quillacq, présenté par MM. de Bracquemont, Callon et Gaudry.
Varlet, présenté par MM. Baudet, Contamin et de Dion.

Comme Membre associé :

M. Wyse, présenté par MM. Lavalley, de Lesseps et Molinos.

Au mois de décembre :

MM. Brault, présenté par MM. Lecœuvre, H. Tresca et Tresca A.
Bouvet, présenté par MM. Brichaut, Leverbe et Loustau.
de Lignières, présenté par MM. de Dion, Lecœuvre et Rudler.
Lombard-Gérin, présenté par MM. Delage, Herbet et de Pascal.

Digitized by Google

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

VIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1877

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

Séance du 2 Novembre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. GOSCHLER, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 octobre est adopté.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Mallet relative à l'application du système Compound aux machines locomotives.

M. MALLET s'excuse de n'avoir pas pu assister à la dernière séance, à l'ordre du jour de laquelle, il désire le constater, ne figurait pas la discussion sur sa communication; il doit remercier ceux de ses honorables collègues qui ont bien voulu prendre sa défense, et qui l'ont fait avec plein succès, si l'on juge par le procès-verbal; il remercie également M. Mékarski d'avoir bien voulu prendre l'initiative d'une discussion sérieuse sur un sujet comme celui-ci. M. Mallet est heureux de voir que M. Mékarski n'a pas oublié la part qu'il a prise aux discussions qui eurent lieu l'année dernière à l'occasion du système de traction à l'air comprimé, discussions auxquelles l'importance de la matière a donné un grand retentissement, et a bien voulu, dans la circonstance actuelle, faire acte de gracieuse réciprocité à son égard.

Il est à peine besoin de faire remarquer que la question qui s'agite aujourd'hui se relie étroitement à celle à laquelle il vient d'être fait allusion; la thèse soutenue par M. Mékarski est toujours la même : la locomotive à vapeur, petite ou grande, est toujours un appareil qui utilise mal le combustible et qui est voué fatalement à la médiocrité; les perfectionnements qu'on cherche à lui apporter ne peuvent l'améliorer sensiblement, et les résultats que M. Mallet a présentés à la Société ne paraissent pas devoir modifier l'appréciation de son collègue sur cette question.

En effet, les arguments que M. Mékarski a présentés dans la dernière séance tendent à prouver que : 1° la consommation de 4 kilog. de combus-

Digitized by Google

tible par kilomètre ne donne point aux machines locomotives de Bayonne à Biarritz de supériorité sur les locomotives du système ordinaire, et 2° cette consommation correspond à une dépense de $2^k,700$ par cheval et par heure, qui n'a assurément rien d'avantageux.

Il est facile de démontrer que ces deux conclusions ne reposent que sur une série de malentendus qu'il faut écarter tout d'abord.

M. Mallet rappelle que le chiffre de 4 kilog., ou plus exactement de $3^k,98$, est la moyenne obtenue sur 32,000 kilomètres effectués par trois machines, dont l'une était dans des conditions d'infériorité faciles à expliquer, et qu'à la rigueur il serait en droit de prendre pour point de départ le chiffre de $3^k,83$, réalisé par la machine n° 3 pendant un parcours de 17,000 kilomètres, effectués avec un seul jour d'interruption. Il acceptera, toutefois, la base de $3^k,98$, mais en faisant remarquer que ce chiffre, pour être employé dans des comparaisons utiles avec d'autres machines, devrait être diminué des quantums relatifs à l'allumage, aux stationnements, etc.; du seul fait de l'allumage qui, pour deux machines, exige au moins 100 kilogs., la dépense kilométrique est affectée de $\frac{100}{464} = 0^k,210$. La dépense réelle correspondant au parcours est donc seulement de $3^k,77$.

Lorsque M. Mékarski avance qu'une locomotive ordinaire ne brûlerait guère que le double pour des trains deux fois plus lourds, il est évident qu'il ne tient aucun compte du profil; il ne trouverait nulle part d'exemples de trains de 140 tonnes brutes dont la traction sur des profils comprenant une aussi forte proportion de rampes de 15 millièmes n'exigerait que $7^k,5$ de combustible par kilomètre. On peut, en effet, citer des trains atteignant à peine ce poids (10 voitures ordinaires et une machine à roues libres à tender séparé) qui dépensent $8^k,5$ par kilomètre sur des grandes lignes où non-seulement il n'existe que des rampes bien inférieures à 15 millièmes, mais encore où ces rampes sont loin d'avoir, par rapport à la longueur totale, une importance comparable à celle des fortes rampes du chemin de Bayonne à Biarritz.

La vérité est que sur les chemins de fer les consommations kilométriques inférieures ou même égales à 4 kilog. sont très-rares et correspondent alors à un travail notablement plus faible que celui des machines de Biarritz.

M. Mallet citera quelques faits à l'appui de cette assertion :

1° M. Belpaire a fait construire récemment, pour l'administration des chemins de fer de l'État belge et notamment pour le service du chemin de ceinture de Bruxelles, des voitures à vapeur dont la consommation n'est, dit-on, pas supérieure à $2^k,0$ par kilomètre; la voiture pèse, toute chargée, 16 tonnes; c'est donc 125 grammes par tonne kilométrique brute, soit plus du double de la consommation des machines de Biarritz, sur un profil qui comporte des inclinaisons à peu près semblables, mais dans une bien moins grande proportion. Il est nécessaire de faire remarquer que dans ces voi-

Digitized by Google

tures à vapeur, il n'y a qu'une paire de roues motrices, et que, par conséquent, la résistance comme machine n'est pas très-considérable.

2° Au chemin de Fougères à Vitré, d'après une note publiée dans les *Annales des Mines*, la dépense minima a été de 106 grammes par tonne kilométrique, sur un profil qui comporte également des rampes de 15 millièmes. Si cette consommation est rapportée à la tonne nette remorquée, la consommation correspondante serait pour les machines de Biarritz de 78 grammes, soit une différence de 26 pour 100; si, au contraire, il s'agit de tonnes brutes, la différence sera encore bien plus considérable, et encore est-il probable que la dépense de 106 grammes rapportée plus haut est la dépense nette de parcours, défalcation faite des allumages, stationnements, etc.

3° Au chemin de fer à voie étroite de Turin à Rivoli, qui a fait l'objet d'une communication de MM. Dumont et Joyant, la dépense kilométrique pour l'exercice 1876 est, d'après les comptes rendus officiels du ministère des travaux publics du royaume d'Italie, de 4^{k},586. Les documents renfermés dans ces comptes rendus permettent de trouver le poids du train moyen, qui est de 34^{t},55, y compris la machine, pesant 12 tonnes en charge; la dépense kilométrique par tonne brute ressort donc à 133 grammes au lieu de 60, les deux profils étant comparables.

4° Au chemin de Lausanne à Échallens, également décrit par MM. Dumont et Joyant, la dépense de combustible est en argent, par kilomètre, de 0^{f},266; à Biarritz, elle n'est que de 11,5 centimes; en admettant que le charbon coûte à Lausanne 35 fr. la tonne au lieu de 28 fr. à Bayonne, la dépense des machines d'Échallens tomberait à 22 centimes environ. Il est vrai que le profil sur ce dernier chemin comporte des inclinaisons plus considérables que celles du chemin de fer de Bayonne à Biarritz; mais en revanche le poids des trains y est beaucoup plus faible. Sur la même ligne, on a employé une voiture à vapeur, construite à Winterthur; cette voiture pesant 16 tonnes pleines, dépensait 2^{k},50 par kilomètre, soit 156 grammes par tonne kilométrique.

5° M. Ledoux, ingénieur des mines, a publié dans les *Annales des Mines* une notice importante sur l'exploitation des chemins de fer industriels. Il cite les chemins de fer à voie étroite d'Ergasteria, de Mokta-el-Hadid, de Mondalazac, de Cissous, Saint-Léon, etc. Sur ces chemins de fer les dépenses kilométriques varient de 7 à 15 kilog., et presque sur tous le trafic a lieu à la descente.

M. Mallet n'insistera pas sur cet exemple, parce qu'on pourrait lui objecter qu'il s'agit d'un matériel spécial différant complétement d'un matériel à voyageurs. Il engage toutefois ceux de ses collègues que la question intéresserait à consulter le travail de M. Ledoux.

6° Un exemple qu'on peut citer utilemement, c'est la consommation des machines *haut le pied*, c'est-à-dire circulant seules.

D'après M. Couche, il est alloué pour ce genre de parcours les quantités suivantes qui, rapportées aux poids de machine et de tender, donnent les dépenses ci-dessous par tonne kilométrique brute :

Digitized by Google

Machine Crampton, pesant.	45 tonnes	5k,5,	soit 122g	par tonne kilom.	
— à roues libres. . .	40	5k,5,	137	—	—
— mixte.	50	6	120	—	—

On peut objecter que les consommations réelles sont inférieures aux allocations; mais comme, d'autre part, on défalque les allumages, stationnements, etc., qui sont compris dans le chiffre de 58 grammes des machines de Biarritz, l'équilibre est rétabli et la comparaison possible.

Cependant, si le mode d'évaluation ci-dessus éveillait des susceptibilités, comme ne tenant pas compte de l'influence prépondérante de la résistance propre de la machine, on pourrait le modifier en affectant le poids de la machine d'un coefficient de 2,5, et celui du tender ou du train d'un coefficient de 1; dans ce cas, les chiffres proportionnels de consommation deviendraient :

	Charge corrigée.	Consommation proportionnelle.
Machine Crampton..	82	66
— à roues libres..	73	76
— mixte.	95	63
— Biarritz.	100	40

On peut ajouter qu'il y aurait à tenir compte de la différence des profils qui sont au désavantage de la dernière machine.

Ces exemples suffiront pour convaincre M. Mékarski que la consommation de 4 kilogs, pour un travail comparable à celui qu'effectuent les machines de Biarritz, n'est pas aussi commun qu'il le suppose, sur les chemins de fer.

M. Mallet attache une médiocre importance aux démonstrations théoriques par lesquelles son honorable collègue a cherché à démontrer l'énorme infériorité des machines locomotives par rapport aux machines fixes, mais il désire signaler les hypothèses inexactes qui ont servi de point de départ à ces calculs.

M. Mékarski estime que la contre-pression ne peut être évaluée à moins de 1kg,15 par centimètre carré et la pression initiale à plus de 7 kilogs, à cause de la vitesse de fonctionnement, même lorsque le régulateur est ouvert en grand.

« La contre-pression, dit M. Couche, est sensiblement nulle dans les locomotives dont la distribution est bien réglée; il n'en était pas de même autrefois, du temps du coke, des petits foyers et des échappements serrés. »

Quant à la pression au cylindre, les pertes de pression énormes citées par M. Mékarski, s'évitent parfaitement en pratique. Dans des expériences faites au chemin de fer d'Orléans, il y a vingt ans, on a obtenu, même à des vitesses assez considérables, des pressions à l'admission qui étaient à la pression à la chaudière, dans le rapport de 0,93, 0,96, 0,98 et même 1.

Les diagrammes d'indicateur relevés sur les machines de Biarritz accusent

Digitized by Google

des pressions initiales au petit cylindre de 10 kilos effectifs, même avec une rotation assez rapide.

On se fait des idées très-fausses sur ce qui se passe dans les locomotives, et, comme le dit M. Couche, à l'adresse d'un savant qui connaît beaucoup mieux les questions de navigation que les chemins de fer : « On cite fréquemment les locomotives, mais souvent on retarde de quinze ans et plus. »

Le calcul de M. Mékarski rectifié sur des hypothèses plus conformes à la pratique, au lieu d'un rapport de 1.79 que notre confrère porte charitablement à 2 pour tenir compte de certaines circonstances, conduit alors à un rapport de 1.45 comme effet utile comparatif du même poids de vapeur dans une bonne machine fixe à condensation et dans une locomotive.

Les circonstances auxquelles il vient d'être fait allusion seraient l'état d'entretien des locomotives qui, d'après notre collègue, est forcément plus défectueux que celui d'une machine fixe dont la surveillance est beaucoup plus facile. Cet argument est bien hasardé.

La locomotive, au contraire, est un appareil qui travaille généralement peu et qui, tout au moins sur les grandes lignes, est l'objet de soins minutieux et est confié à un personnel de choix. Une machine qui fait 30,000 kilomètres par an, à raison de 40 kilomètres à l'heure, n'a travaillé que 750 heures dans l'année tandis qu'une machine d'usine à douze heures par jour, et 300 jours par an aurait travaillé 3,600 heures, ou près de 5 fois autant.

La grande vitesse de fonctionnement qu'invoque M. Mékarski n'a pas une influence défavorable, et il oublie de tenir compte d'un phénomène qui joue un rôle avantageux dans la locomotive, c'est-à-dire, la compression qui produit un travail résistant, il est vrai, mais qui se retrouve intégralement sous forme de chaleur ou de travail proprement dit.

A ce propos, M. Mallet rappelle que dans des discussions précédentes, il a cité ce fait curieux, que les grands perfectionnements des machines à vapeur, l'enveloppe de vapeur et la détente en cylindres successifs, remontent à un siècle; abandonnés d'abord parce qu'on n'avait pas compris leur rôle réel, ils ont été repris depuis avec succès.

Il est certain que leurs auteurs, Watt et Hornblower, n'en avaient pas prévu toute la portée. Ne pourrait-on pas y ajouter la coulisse de Stephenson, d'abord appliquée pour le changement de marche, puis pour produire une détente qu'on considérait comme très-imparfaite et qu'on employait, faute de mieux, à cause de sa très-grande simplicité? Aujourd'hui on reconnaît que cette distribution a de très-grands avantages même théoriques et que, si on n'exagère pas la réduction de l'admission, les compressions modérées qu'elle produit sont très-profitables à l'économie de vapeur.

M. Mallet signalera, en passant, la prétention de M. Mékarski de limiter à 7 kilogs de vapeur la production d'un kilogramme de combustible dans une chaudière de locomotive. Ce genre de chaudières a toujours passé pour très-avantageux, et il est parfaitement permis de leur attribuer avec de bon combustible et de bonnes proportions une production de 8 et même

Digitized by Google

8^{kg},5 de vapeur, non pas brute, car alors la production peut aller à 10 kilogs, mais rapportée à un état d'humidité comparable à celui de la vapeur produite par les chaudières fixes. On sait, d'ailleurs, que plus la pression est élevée, plus le volume d'un poids donné de vapeur à produire dans l'unité de temps est faible, et par conséquent plus on a de chances de produire de la vapeur relativement sèche.

M. Mallet n'attache, comme il l'a déjà dit, que peu d'importance aux comparaisons théoriques qu'a faites M. Mékarski, même en les supposant rectifiées. Les chiffres qu'on trouve au moyen des formules du travail de la vapeur doivent, pour correspondre aux résultats de la pratique, être affectés de coefficients très-variables et différant très-notablement de l'unité. Ainsi, à 7 atmosphères de pression et une expansion à 12 volumes, une machine à vapeur à condensation n'exigerait théoriquement que 4^{kg},35 de vapeur par cheval brut et par heure, soit avec une vaporisation de 7 kilogs, 0^{kg},620 de charbon par cheval et par heure; comme une semblable machine dépenserait pratiquement au moins 1 kilog. à 1^{kg},10, il s'ensuit que le coefficient de rendement le plus modéré doit être de 1.62 à 1.75.

Comment baser des comparaisons sérieuses sur des chiffres qu'il faut affecter de pareils coefficients, dont la valeur varie, d'ailleurs, d'une machine à l'autre?

M. Mallet croit donc qu'il faut se tenir sur le terrain de la pratique. M. Mékarski partant des consommations données pour les machines de Biarritz a essayé de démontrer que ces machines dépensent 2^{kg},700 de combustible par cheval et par heure, chiffre concordant avec la valeur qu'il avait obtenue par des considérations théoriques que M. Mallet croit avoir parfaitement montré être basées sur des hypothèses totalement inexactes.

Il est facile de prouver également que ce chiffre de 2^{kg},700 n'est obtenu que grâce à une omission très-importante, déjà signalée par M. Brüll dans la précédente séance, omission du poids de la machine. M. Mékarski a cherché à soutenir que, pour apprécier le travail net d'une locomotive, on ne doit pas supposer sa résistance au roulement supérieure à celle des autres véhicules; en cela il ne tient pas compte de l'accouplement et des autres résistances propres qu'a signalées M. le Président; en tout cas, ne dût-on pas supposer la machine plus résistante que les autres véhicules, tout au moins doit-on tenir compte de sa présence.

M. Mallet prendra 6 kilogs par tonne pour la résistance des voitures en palier, 12 kilogs pour la résistance de la machine, et 2 kilogs pour la résistance moyenne due à la gravité; le chiffre de 12 kilogs a été généralement admis à la dernière séance, et il se justifie parfaitement dans l'espèce. En effet, la machine de Biarritz a donné au dynamomètre, à la vitesse de 30 kilomètres environ, une résistance totale à la traction de 185 kilogrammes, soit 9^{k},48 par tonne; on admettra bien que les résistances additionnelles dues au travail de la vapeur dans les cylindres et aux pressions qui en résultent sur les essieux et les pièces du mécanisme doivent porter la résistance totale, pour la machine fonctionnant, à 12 kilogrammes par tonne.

Digitized by Google

M. MALLET établit son calcul sous la même forme que celui de M. Mékarski, et comparativement à celui-ci :

Calcul de M. Mékarski.

50 tonnes de train à $(6 + 2)^{kg} = 400$ kilogs d'effort de traction, soit un travail par kilomètre de 400 000 kilogrammètres.

On produit donc $\frac{400\,000}{4} = 100\,000$ kilogrammètres par kil. de charbon.

On dépense donc $\frac{270\,000}{100\,000} = 2^{kg},700$ de charbon par cheval et par heure.

Calcul de M. Mallet.

50 tonnes de train à $(6+2)^{kg} = 400^{kg}$
19 tonnes de machine à $(12+2) = 266$
$\Big\} = 666^{kg}$ d'effort de traction,

soit un travail par kilomètre de 666 000 kilogrammètres.

On produit donc $\frac{666\,000}{3.98 - 0,21} = 177\,000$ kilogrammèt. par kil. de charbon.

On dépense alors $\frac{270\,000}{177\,000} = 1^{kg},52$ de charbon par cheval et par heure.

L'inspection des calculs ci-dessus montre de quel côté est la vérité.

Si on faisait rigoureusement l'évaluation du travail effectué par les machines de Biarritz, on trouverait une consommation encore plus réduite.

En effet, la résistance calculée par la formule des Ingénieurs de l'Est, si on remarque que la surface résistante des voitures de Biarritz est de 9,5 mètres carrés au lieu de 5, donnerait pour une vitesse moyenne de 33 kilomètres à l'heure.

$$R = 1,80 + (0,08 \times 33) + \frac{0,009 \times 9.5 \times \overline{33}^2}{50} = 6^{kg},12.$$

En tenant compte des inclinaisons, on arriverait à une résistance moyenne de $8^{k},27$ par tonne, qui, appliquée à la totalité du train, machine comprise, donnerait un effort de traction net à la jante de 570 kilogrammes. Cet effort, augmenté de 20 pour 100 pour tenir compte des frottements du mécanisme et des résistances additionnelles de la machine, donnerait lieu, à la vitesse moyenne de 33 kilomètres, à la production d'un travail brut de 84 chevaux, sans compter ni l'influence des courbes ni le travail dépensé pour amener rapidement le train à sa vitesse normale.

Ce travail est obtenu par la machine n° 3 avec une dépense nette de $3^{k},60$, allumage déduit, ce qui donne une consommation par cheval et par heure de $1^{k},425$. Cette consommation serait encore moindre si on tenait compte du travail réel, car, comme l'a déjà dit M. Mallet, les courbes d'indicateur accusent pour des conditions de pression, d'admission et de vitesse analogues, un travail d'au moins 90 chevaux bruts.

Ce mode de calcul, que M. Mallet préfère au précédent, lui paraît ne devoir laisser subsister aucun doute sur la réalité des faits énoncés.

Digitized by Google

M. MALLET termine par la question de l'échappement, qui, pas plus que les autres, n'a trouvé grâce devant son honorable collègue.

M. Mékarski a dit dans la dernière séance que, pour que le tirage restât suffisant, il faudrait que le même poids de vapeur communiquât la même quantité de force vive, et pour cela que la pression de cette vapeur à l'échappement ne fût pas moins élevée.

Voici, sur le terrain théorique, une réponse très-nette empruntée au traité de M. Couche :

« Pour une même valeur du poids de vapeur sortant des cylindres, dans « l'unité de temps, le poids d'air appelé est constant, quelle que soit la pres- « sion de la vapeur et quelles que soient les variations de cette pression.

« Pendant une course du piston, la pression de la vapeur qui s'échappe « et par suite la quantité écoulée varient à chaque instant; il en est de « même de la quantité d'air appelée qui passe par les mêmes phases que la « première; mais la quantité totale d'air aspirée par une quantité donnée « de vapeur est indépendante de la pression sous laquelle celle-ci s'écoule « et de la loi que suivent ses variations, ou du moins le poids spécifique est « seul influencé par ces variations, et cela dans des limites très-étroites. »

M. Couche ajoute que « quand même la machine serait simple (cas des « machines Compound à deux cylindres), la vapeur serait encore dépensée « et l'air appelé d'une manière inégale, sans doute, mais sans interruption « complète, ou du moins avec une interruption très-courte, dans le cours « d'un tour de roue. »

Ces considérations sont justifiées par l'expérience, et à ce sujet M. Mallet croit devoir, à propos des faits qu'il a cités dans sa communication du 5 octobre, relever tout particulièrement un point de l'argumentation de M. Mékarski.

M. MALLET avait cité le fait suivant : le 16 mai 1877, dans un parcours effectué entre la gare d'Ivry (Orléans) et Choisy-le-Roi, la machine n° 3, *Biarritz*, a remorqué un train de 19 wagons de marchandises formant une charge brute de 204t,5, machine non comprise, en dépensant 576 litres d'eau en 15 minutes, ce qui correspond à une vaporisation de 50 litres environ par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

M. Mékarski a répondu que cette expérience n'était nullement concluante, car, disait-il, les conditions mêmes dans lesquelles semblent s'être faits ces essais permettent de croire que la machine fonctionnait alors avec admission dans les deux cylindres, c'est-à-dire comme une locomotive ordinaire et non comme une Compound.

Un peu plus loin, M. Mékarski est plus affirmatif :

« Dans l'essai relaté par M. Mallet, dit-il, la machine ne fonctionnait pas « comme locomotive Compound. »

C'est absolument inexact; on ne comprendrait pas l'intérêt que pouvait avoir la Compagnie du chemin de fer d'Orléans à faire fonctionner une locomotive Compound comme locomotive ordinaire, cela n'avait aucune raison d'être.

Digitized by Google

La vérité est que, sauf quelques tours de roues au départ de la gare d'Ivry, la machine *Biarritz* a constamment fonctionné au Compound.

L'expérience était conduite par les agents de la Compagnie d'Orléans.

M. Mallet n'y assistait que comme spectateur, et est resté dans le fourgon en compagnie de M. Henri Paur, de Zurich, membre de la Société, mais M. Tresca, Président honoraire de la Société, qui avait bien voulu assister à l'essai, est resté tout le temps sur la machine, et a pu contrôler le mode de fonctionnement qui d'ailleurs était tout indiqué.

La mesure du volume d'eau sorti des caisses, effectuée par MM. Mercey et Noyer, inspecteurs de la traction de la Compagnie d'Orléans, a donné un chiffre de 576 litres dépensés en 15 minutes, qui correspond à 50 litres environ par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

Il y a là un fait d'expérience indiscutable; M. Mallet ne cherche à en tirer d'autre conclusion que celle-ci : c'est que la réduction à moitié du nombre des coups d'échappement n'empêche pas la production de vapeur d'être, dans les machines locomotives du chemin de fer de Biarritz, aussi satisfaisante que dans les locomotives ordinaires.

M. Mallet désire que les explications qu'il vient de présenter soient de nature à dissiper les préventions de M. Mékarski, et à lui donner une meilleure opinion de l'amélioration que l'emploi du système Compound peut apporter au fonctionnement des machines locomotives.

M. Mékarski s'excuse de ne pouvoir discuter *ex-abrupto* les chiffres comparatifs produits par M. Mallet, et dont il se croit en droit de tirer la preuve de la supériorité des locomotives Compound.

En rapportant la dépense de combustible à la tonne kilométrique, M. Mallet a rendu assurément la comparaison très-simple et très-concluante en ce qui concerne les exemples cités. Toutefois, pour admettre pleinement la légitimité de ce raisonnement, il serait nécessaire de savoir si dans ces différents cas les conditions du service fait par les machines, c'est-à-dire le profil de la ligne et la vitesse des trains, sont suffisamment analogues.

Il y a également lieu de faire observer que les machines mises en parallèle avec les locomotives du chemin de Bayonne à Biarritz sont probablement d'une construction plus ancienne et moins soignée et que ces dernières ne donneront peut-être pas, après quelques années d'usage, des résultats aussi avantageux.

M. Mékarski ne peut donc encore considérer la question de fait comme tranchée, bien qu'il n'hésite pas à reconnaître que les citations de son honorable contradicteur ont fort ébranlé son opinion première.

Il doit d'ailleurs protester contre l'appréciation que lui suppose M. Mallet à l'égard des locomotives en général. Il est très-éloigné de penser et il n'a jamais dit que les locomotives fussent, absolument parlant, de mauvaises machines; il a, au contraire, essayé de faire voir que le défaut qu'on leur reproche de ne pas permettre de dépasser une certaine limite de détente n'a pas l'importance qu'on est tenté de lui attribuer. Seulement, amené à comparer ces machines avec les machines fixes à condensation, il a fait res-

Digitized by Google

sortir ce fait que, par cela seul que les premières ne condensent pas la vapeur, elles doivent en dépenser à peu près le double que les secondes.

M. Mallet accepte l'expression analytique du rapport mais il en déduit une valeur assez différente en substituant au chiffre de 7 kilogs, pour la valeur initiale de la pression sur les pistons de la locomotive, celui de 11 kilogs auquel les locomotives de Bayonne à Biarritz fonctionneraient habituellement. Sans mettre en doute cette affirmation, peut-on considérer comme très-ordinaire l'emploi d'une pression aussi élevée?

Le bénéfice qu'on peut en retirer est d'ailleurs fort contestable, car la température de la vaporisation est d'autant plus instable qu'elle est plus élevée et cette instabilité dans les différentes parties de la masse en ébullition est une des causes les plus actives d'entraînement d'eau.

Or, cet entraînement d'eau influe lui-même d'une façon bien plus active que le degré de détente sur le refroidissement des cylindres pendant l'échappement, et par suite sur les condensations nuisibles de vapeur au moment de l'admission.

M. Mékarski est d'avis que c'est presque uniquement à cette cause qu'il faut rapporter les condensations dont il s'agit.

Si l'on supposait la vapeur introduite dans le cylindre complétement sèche, il y aurait, il est vrai, condensation partielle pendant la détente et vaporisation pendant l'échappement au détriment de la chaleur de l'enveloppe. Mais on peut dire sans crainte que le refroidissement qui en résulterait ne se ferait pas sentir dans la partie du cylindre où il y a admission, cette partie venant un instant auparavant d'être réchauffée par la compression qui se produit à la fin de la course du piston.

Ainsi que l'a très-justement fait observer M. Mallet, la vitesse de transmission du calorique à travers un corps, même très-bon conducteur, n'est pas tellement grande que l'on ne doive supposer à ce moment une différence de température aux deux extrémités du cylindre. Celle où il y a admission peut être sensiblement à la température de la chaleur introduite, la partie opposée étant beaucoup plus froide.

Si l'on considère qu'avec une introduction de 0.30 le travail de compression est environ le tiers de celui de la détente et s'opère sur une longueur beaucoup moindre, on n'éprouve aucune difficulté à admettre que le premier puisse suffisamment, au point où il se produit, relever la température.

Ce qui précède suppose qu'il n'y ait pas d'eau entraînée mécaniquement, car alors la chute de température due à la vaporisation de cette eau, pendant l'échappement, s'ajoute à celle que produit, de son côté, la détente et rend le phénomène infiniment plus intense. La compression ne peut alors fournir assez de chaleur aux parties de l'enveloppe qui vont se trouver en contact avec la vapeur, et il s'y produit forcément une condensation qui agit à son tour dans le même sens, exagérant encore l'effet des deux causes de refroidissement.

Il n'est donc pas surprenant qu'on arrive ainsi aux différences citées par

Digitized by Google

M. Mallet entre la consommation d'eau jaugée et calculée au moyen de diagrammes.

Ces considérations disposent M. Mékarski à croire que le système Compound peut effectivement assurer une certaine économie en réduisant l'écart entre la température de l'introduction et celle de l'échappement, mais que l'on pourrait obtenir des machines actuelles des résultats au moins aussi avantageux sans rien changer à leur disposition et en conservant la parité des cylindres, par l'emploi de moyens propres à diminuer l'entraînement d'eau.

Un des meilleurs ne serait-il pas de laminer la vapeur sur son parcours par une sorte de détendeur, en ne la faisant agir qu'à une pression sensiblement inférieure à celle de la chaudière, supposée d'ailleurs elle-même suffisamment élevée?

On arrêterait ainsi au passage, par simple frottement une partie de l'eau entraînée et le reste se vaporiserait spontanément par suite de la raréfaction produite par le laminage, la vapeur cessant d'être saturée.

M. Mékarski considère comme très-probable qu'une locomotive produisant de la vapeur à 11 kilogs, mais ne l'utilisant qu'à 7, avec au moins 0,30 d'introduction, serait aussi économique, sinon plus, que si elle utilisait la vapeur à 11 kilogs avec une longue expansion.

Il ne s'étendra pas davantage aujourd'hui sur ce sujet, se réservant d'y revenir à une prochaine séance.

Pour ce qui concerne la puissance de vaporisation des locomotives de Bayonne à Biarritz, M. Mékarski déclare se rendre aux nouvelles explications de M. Mallet. Ce qui lui a fait supposer que dans l'expérience de Choisy la machine fonctionnait avec admission dans les deux cylindres, c'est qu'elle remorquait, dans cette circonstance, un poids beaucoup plus considérable que celui qu'elle traîne en service normal : 200 tonnes au lieu de 50. Les choses ne s'étant pas passées ainsi, la vaporisation constatée est certainement un argument sérieux dont M. Mékarski ne méconnaît pas la valeur.

M. Mékarski pense que les moyens employés jusqu'à présent pour dessécher la vapeur, et qui ont consisté généralement à la surchauffer par son passage dans des conduits *ad hoc* ne pouvaient être suffisamment efficaces par suite de l'énorme vitesse de translation du fluide.

Il répète qu'à son avis, on arriverait très-probablement à un meilleur résultat en produisant la vapeur à une pression plus élevée que celle à laquelle on l'emploierait, et en la débitant par l'intermédiaire d'un détendeur. Ce procédé donnerait en même temps à la machine une élasticité de puissance bien plus grande que la simple variation de la détente.

M. Mallet ne veut pas prolonger la discussion, qui lui paraît maintenant épuisée; M. Mékarski semble actuellement se demander si on ne peut arriver sur les machines locomotives au même résultat qu'avec le système Compound avec des moyens plus simples, et il a développé d'intéressantes considérations sur le rôle de l'eau entraînée dans les cylindres.

Digitized by Google

M. Mallet a le plaisir d'être complétement d'accord avec son collègue quant à l'influence nuisible de l'eau dans les cylindres, quelle que soit son origine; il est certain que l'eau est un absorbant et résorbant de chaleur bien plus énergique que le métal, à cause tant de sa plus grande capacité calorifique que de ses pouvoirs émissif et absorbant énergiques; l'eau entraînée[1] agit à cet égard comme l'eau condensée. Que s'en suit-il? Évidemment on doit chercher à réduire la quantité d'eau entraînée; M. Mékarski voit le remède dans le séchage et le surchauffage de la vapeur. C'est bientôt dit. Dans la séance du 19 janvier, M. Mallet, traitant la question de la surchauffe, disait qu'il serait toujours très-difficile de surchauffer la vapeur dans les locomotives, parce qu'il fallait au préalable vaporiser l'eau entraînée, eau dont la proportion atteint quelquefois 20 pour 100. On serait conduit à employer des appareils énormes, dans le genre des sécheurs des machines du Nord, sécheurs qui, malgré leur surface considérable, n'ont donné que des résultats insignifiants. La surchauffe, fût-elle possible, est toujours très-délicate à employer; notre collègue, M. Leloutre, qui a étudié cette question théoriquement et expérimentalement, a reconnu que, même avec de la vapeur surchauffée à 230°, il se produit encore une condensation très-notable au cylindre pendant l'admission.

La surchauffe a été surtout employée dans les machines marines, combinée avec de fortes expansions en cylindres uniques; tout cela n'a pas empêché l'adoption des machines Compound.

La présence de l'eau est assurément nuisible dans les cylindres; mais au lieu de chercher à la supprimer absolument, ce qui est très-difficile, il vaut mieux atténuer son effet en divisant les chutes de température par l'emploi de cylindres successifs, entre lesquels, d'ailleurs, le réservoir intermédiaire retient toujours une quantité notable de cette eau.

M. Mallet est également d'accord avec son honorable collègue sur le désavantage des expansions trop longues en cylindres uniques, c'est précisément pour cela que l'emploi de la détente en cylindres successifs, qui peut être prolongée avec avantage, est tout indiqué pour les machines locomotives.

Les expansions modérées et l'emploi d'un détendeur de vapeur n'atteindraient nullement le but que se propose M. Mékarski; l'effet utile de la vapeur décroîtrait rapidement par la réduction de la pression initiale.

Quant à la surchauffe, ou plutôt au séchage, qu'on peut produire par cette réduction de pression, il ne faut pas se faire d'illusions à cet égard. Thomas enseignait ce procédé dans son cours de l'École Centrale dès 1855.

Il indiquait que cette réduction de pression n'avait pas d'inconvénients, pour des machines fixes à condensation, et pouvait même produire un certain avantage. Il en serait tout autrement pour des machines du genre

1. Et encore faut-il faire une distinction entre l'eau vésiculaire en mélange intime avec la vapeur, et l'eau entraînée mécaniquement par les ébullitions ou projections; c'est surtout cette dernière qui est nuisible parce qu'elle se dépose sur les parois au lieu de rester dans la masse de vapeur.

Digitized by Google

des locomotives; d'ailleurs avec les quantités d'eau entraînées dans ces machines, la proportion vaporisée, grâce à une chute de pression, même considérable, serait absolument insignifiante, comme il est facile de s'en rendre compte par un calcul élémentaire.

En somme, M. Mékarski s'obstine à lutter contre une difficulté imaginaire, la complication qui n'existe pas dans les machines Compound, tout au moins celles du type de Biarritz; ce qu'il propose à la place n'est à coup sûr pas plus simple.

Les machines de Biarritz n'ont pas encore fait leurs preuves, dit M. Mékarski; M. Mallet ne croit pas devoir engager de discussion sur ce point. Il pense toutefois que, si quelque inconvénient sérieux devait résulter de la disposition ou du mode de fonctionnement de ces locomotives, il se fut déjà révélé pendant le parcours de *soixante-six mille* kilomètres effectué à ce jour, qui, réparti également entre les trois machines, constituerait pour chacune une moyenne de *vingt-deux mille* kilomètres. Une expérience sur pareille échelle peut passer pour concluante.

Quant à la crainte qu'a témoignée M. Mékarski, de voir les premiers résultats obtenus ne pas se soutenir, quand les machines ne seraient plus neuves, on peut dire que l'étagement des pressions dans deux cylindres successifs, ayant pour effet de réduire les efforts sur les mécanismes et d'atténuer les fuites par les tiroirs et les pistons, l'état d'entretien de l'appareil a beaucoup moins d'influence sur la consommation.

Ce fait a été constaté d'une manière irrécusable, tant sur les machines marines que sur les machines fixes.

M. Mallet a déjà cité l'exemple de vieilles machines à balancier de Woolf, qu'on rencontre dans les centres manufacturiers de Normandie, et qui fonctionnent d'une manière tolérable, dans un état d'usure dont ne s'accommoderaient pas des machines ordinaires.

Il y a encore là un avantage très-réel pour le système Compound.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Mallet des explications qu'il a données et qui forment un utile complément à sa communication sur les locomotives Compound. Il pense qu'il n'y a pas lieu, pour le moment, de prolonger la discussion; celle-ci pourra être plus utilement reprise à une époque ultérieure, puisque M. Mékarski lui-même a exprimé le désir d'étudier de nouveau et plus complétement la question.

L'ordre du jour appelle la communication de M. de Dion sur les équations générales de l'équilibre d'une pièce courbe.

M. DE DION rappelle à la Société que précédemment, le 2 juillet 1875, il lui a fait une communication dans laquelle il a exposé comment on pouvait calculer les déformations et la résistance d'une pièce droite ou courbe, en conservant dans les différentielles toutes les variables résultant de la forme et les dimensions de la pièce.

Le calcul de ces différentielles, se fait au moyen d'une construction graphique, dans laquelle une surface donne le mouvement angulaire, et un

Digitized by Google

volume tracé sur cette surface, donne le mouvement de translation d'un point par rapport à un autre, si on prend ce volume avec des hauteurs convenables.

Il a appliqué cette méthode, aux différents cas d'une pièce droite et à l'arc de 160 mètres de portée du pont du Douro, dont le projet fait par MM. Eiffel et Cie, a depuis été exécuté avec succès. L'arc de ce pont a une section variable, mais il repose sur des tourillons, ce qui simplifie le problème.

Depuis, M. de Dion, a eu à calculer la ferme de la galerie des machines de l'Exposition universelle.

Cette ferme avait été projetée avec des arbalétriers rigides et des tirants. Le calcul exact comportait des équations nombreuses comme pour le calcul d'un pont à six travées, et les allongements des tirants entraient dans ces équations, comme une des conditions des déplacements des points de jonctions des tronçons de la ferme.

On a ensuite modifié ce projet, en supprimant les tirants, et la ferme n'a plus consisté qu'en une pièce courbe encastrée à ses extrémités. Sous cette nouvelle forme, le problème est un peu plus compliqué que celui du pont du Douro, par suite des moments d'encastrement. Le calcul en a été fait, et les expériences récentes en ont confirmé la grande exactitude.

Enfin, en reprenant ces calculs, M. de Dion a été conduit à examiner le problème dans toute sa généralité, il a indiqué dans son discours du mois de janvier dernier, la marche à suivre, et aujourd'hui il croit devoir compléter ses communications en faisant connaître ses équations générales, et en en montrant l'application aux cas particuliers.

Il rappellera en commençant, quelques principes déjà exposés en 1875.

Équations d'équilibre d'une pièce courbe. — Pour exposer la méthode on va l'appliquer au cas particulier d'une ferme composée de fers rivés ensemble et qui peut ainsi être considérée comme ne formant qu'une seule pièce courbe. Les forces extérieures qui agissent sur la ferme, sont les poids $P' P'' P'''$, etc., et les réactions des appuis qui maintiennent les pieds de la ferme à une distance constante l.

Soit : A et B les axes neutres des sections en contact avec les points d'appuis;

$d' d'' d'''$, etc., les distances des poids $P' P'' P'''$, etc., à la verticale passant par le point A.

Les points d'appui exercent sur les pieds de la ferme, des efforts qu'on peut toujours décomposer en un moment, que l'on appellera moment d'encastrement, et en deux forces passant par l'axe neutre de la section, l'une horizontale et l'autre verticale. Au point A agit le moment μ_o et les forces N' horizontale et F' verticale; au point B, le moment μ'_o et les forces N'' et F''.

Les équations d'équilibre pour l'ensemble de la ferme, sont :

$$N' + N'' = 0 \qquad (1)$$

Digitized by Google

la pression horizontale est constante et égale à N.

$$F' + F'' = \sum P \tag{2}$$

$$\underset{0}{\mu} - \underset{0}{\mu'} - \sum_{A}^{B} Pd + F'l = o, \tag{3}$$

l'équilibre d'une partie comprise entre A et une section S dont l'axe neutre est à une distance horizontale x du point A, donne, pour le moment fléchissant μ en S :

$$\mu = \underset{0}{\mu} + F'x - \sum_{A}^{S} Pd - Ny. \tag{4}$$

Fig. 1.

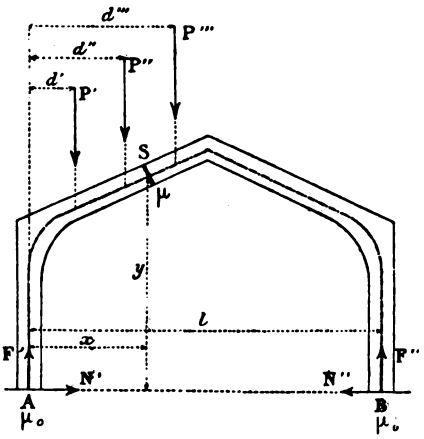
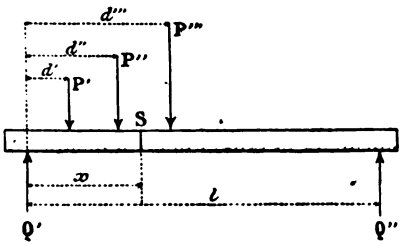


Fig. 2.



Dans ces équations F' et F'' sont des fonctions des poids P et des moments d'encastrement $\underset{0}{\mu}$ et $\underset{0}{\mu'}$

Pour déterminer ces fonctions on compare les équations d'équilibre de la ferme à celles d'une poutre posée de même longueur l et portant les poids P' P'', etc., aux mêmes distances d' d'', etc.

En appelant Q' et Q'' les réactions des points d'appui de la poutre posée, et $\mathcal{M}$ le moment fléchissant pour une section S, on a :

$$Q' + Q'' = \sum P$$

Digitized by Google

$$Q'l = \sum_A^B Pd \qquad (6)$$

$$\mathcal{M} = Q'x - \sum_A^B Pd, \qquad (7)$$

remplaçant dans l'équation (3) $\sum_A^B Pd$ par sa valeur Ql donnée par l'équation (6),

on a : $$\mu_0 - \mu'_0 - Q'l + F'l = 0$$

d'où : $$F' = Q' - \frac{\mu_0 - \mu'_0}{l}, \qquad (8)$$

remplaçant dans l'équation (4) F' par sa valeur, on obtient :

$$\mu = \mu_0 - \frac{\mu_0 x}{l} + \frac{\mu'_0 x}{l} + Q'x - \sum_A^S Pd - Ny,$$

mais de (7) on tire : $$Q'x - \sum_A^S Pd = \mathcal{M}$$

donc . $$\mu = \mathcal{M} - Ny + \mu_0 \frac{(l-x)}{l} + \frac{\mu'_0 x}{l}. \qquad (9)$$

Telle est la valeur du moment fléchissant μ pour une section S quelconque de la pièce courbe.

Dans cette valeur, on connaît $\mathcal{M}$, qui dépend uniquement des charges verticales P; tandis que les quantités N, μ_0, μ'_0, dépendent des déformations de la pièce, et des déplacements de certains de ses points.

Les déformations sont produites :

1° Par les moments fléchissants, et

2° Par les efforts normaux et tangentiels en chaque section ; les effets de ces deux actions se superposent, elles peuvent donc être étudiées séparément.

Le déplacement de chacune des sections dépend de la déformation de toutes les parties de la pièce courbe. Tout déplacement se décompose en un mouvement de translation, et un mouvement angulaire sur son axe neutre.

Déformation par flexion. — Soient S et S' deux sections de la pièce courbe AB, normales à l'axe neutre, et séparées par la distance da comptée sur cet axe neutre; s'il se produit un moment fléchissant μ sur la longueur da, entre ces deux sections S et S', elles éprouveront l'une par rapport à l'autre un mouvement angulaire $d\alpha$.

Digitized by Google

Supposons que la section S est fixe, alors la section S′ vient en S″, et les deux sections S′ et S″ se couperont sur l'axe neutre en n'.

La pièce n'ayant éprouvé aucun effort de S′ en B, ne sera pas déformée, elle aura seulement été entraînée dans le mouvement angulaire de S′ de sorte que la section B sera venue en B′.

Appelons : C la distance de l'axe neutre n' à l'axe neutre B de la section extrême, et df le déplacement BB′;

on aura : $$df = C\,d\alpha. \qquad (10)$$

Pour calculer le mouvement angulaire $d\alpha$, appelons :

i l'allongement produit sur l'unité de longueur et l'unité de section, par une force R;

V′ la distance à l'axe neutre d'une fibre;

R le coefficient de résistance de cette fibre;

E le coefficient d'élasticité;

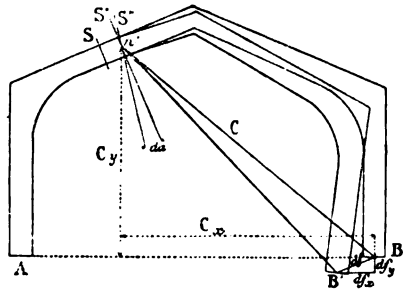
I le moment d'inertie de la section S;

on aura les équations connues :

$$i = \frac{R}{E} \quad \text{et} \quad \mu = \frac{RI}{V'}, \quad \text{d'où :} \quad \frac{i}{V'} = \frac{\mu}{EI};$$

or, $\frac{i}{V'}$ est le mouvement angulaire qui se produit pour l'unité de longueur. J'appellerai la quantité $\frac{\mu}{EI}$ qui lui est égale, l'*infléchissement*.

Fig. 3.



En ne tenant pas compte de la petite différence qui résulte dans les pièces courbes du non parallélisme des sections S et S′ et du déplacement de l'axe neutre, on a :

$$d\alpha = \frac{\mu}{EI}\,da, \qquad (11)$$

le mouvement angulaire est égal à l'infléchissement multiplié par la longueur sur laquelle il se produit.

Pour la déformation, on a :

$$df = \frac{\mu}{EI}\,C\,da, \qquad (12)$$

Digitized by Google

lorsque toute la pièce courbe est soumise à flexion, le mouvement angulaire de B par rapport à A, est :

$$\int_B^A \frac{\mu da}{EI},$$

et le déplacement total de B par rapport a A, en le mesurant, sur la courbe décrite par le point B, est :

$$\int_B^A \frac{\mu da}{EI} C.$$

Pour avoir les déplacements, suivant deux axes rectangulaires, projetons C et df sur ces axes; on aura deux triangles semblables qui donnent :

$$\frac{df}{df_x} = \frac{C}{C_y} \quad \text{et} \quad \frac{df}{df_y} = \frac{C}{C_x}, \tag{13}$$

d'où :

$$df = \frac{C df_x}{C_y} = \frac{C df_y}{C_x}; \tag{14}$$

remplaçant dans l'équation (12) df successivement par ces valeurs, on a :

$$df_x = \frac{\mu C_y}{EI} da, \tag{15}$$

$$df_y = \frac{\mu C_x}{EI} da; \tag{16}$$

alors le déplacement total de C par rapport à S est, suivant l'axe des x, de :

$$f_x = \int_B^A \frac{\mu C_y}{EI} da, \tag{17}$$

et suivant l'axe des y de :

$$f_y = \int_B^A \frac{\mu C_x}{EI} da \tag{18}$$

Formules identiques à celles de Bélanger, d'où il a tiré des applications à des cas géométriques peu nombreux. La difficulté qui restreint les applications de ces formules vient de la préoccupation des auteurs de les ramener à une seule variable pour les rendre intégrables.

Dans ces équations toutes les valeurs varient, excepté le coefficient E, si toutefois on a employé le même métal pour toute la construction. La valeur du moment d'inertie varie généralement d'une manière qu'on ne peut représenter par une formule; il en est souvent de même de la longueur de l'axe neutre et de la projection de C.

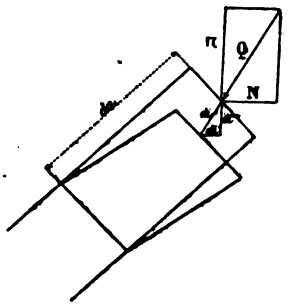
Déformation par compression et glissement. — Indépendamment des déplacements des mouvements angulaires occasionnés par la flexion, il se

Digitized by Google

produit dans l'intérieur de la pièce courbe des déplacements dus à l'action d'une force Q résultante de la pression F normale à la section et de l'effort tranchant T. Ces déplacements sont inversement proportionnels à la section Ω.

Dans ses formules, Bélanger a toujours projeté les forces suivant une normale à la section; il néglige l'effort tranchant et introduit dans ses formules la compression horizontale N multipliée par un cosinus.

Fig. 4.



On simplifie les équations par les considérations suivantes :

Pour l'unité de longueur, le raccourcissement produit par une force normale à la section est la moitié du glissement transversal que produirait cette même force agissant comme effort tranchant.

La résultante Q ne déplace donc pas la section suivant sa direction; mais comme l'effort tranchant T produit des déplacements très-faibles relativement à ceux dus à la flexion dans les fermes et comme cet effort est aussi très-faible relativement à la compression dans les arcs de pont, on peut admettre sans erreur sensible que la force Q, sur une longueur da, produit un raccourcissement di suivant sa direction.

On a alors : $$di = \frac{Q\,da}{\Omega E}. \qquad (19)$$

Décomposant Q en une force horizontale N et une force verticale π, et projetant le raccourcissement di horizontalement en di' et verticalement en di'', on a des triangles semblables qui donnent :

$$di' = \frac{N\,da}{\Omega E} \qquad (20)$$

$$di'' = \frac{\pi\,da}{\Omega E}. \qquad (21)$$

La projection horizontale du raccourcissement i' de la pièce est donc égal au raccourcissement que prendrait la pièce suivant son axe neutre, en la supposant comprimée par la force N,

$$i' = \int \frac{N\,da}{\Omega E}. \qquad (22)$$

La projection verticale du raccourcissement est égale à la diminution de longueur de la pièce qui aurait lieu si la force variable π agissait normalement sur ses sections,

$$i'' = \int \frac{\pi\,da}{\Omega E}.$$

Ayant ainsi indiqué les formules générales, il reste à écrire les équations

Digitized by Google

de conditions qui résultent des déformations où des non déformations de certains points de la pièce.

Équations de condition. — L'équation générale (9) du moment fléchissant qui se produit en un point quelconque de l'axe neutre d'une pièce courbe, que nous avons supposé être une ferme, est :

$$\mu = \mathcal{M} - Ny + \mu_0 \frac{(l-x)}{l} + \frac{\mu' x}{l}. \qquad (23)$$

Quand la ferme ne subit aucun effort extérieur, ce qui a lieu lorsqu'elle est posée à plat sur le sol, elle a la forme que lui a donnée le constructeur. Mais si, ensuite, on la met en place dans des conditions un peu différentes de celles qui avaient d'abord été prévues, elle se déforme. Si on suppose que l'écartement des points d'appui soit plus grand d'une quantité g; que le point d'appui en B soit plus élevé que celui en A d'une quantité h; et, enfin, que les plans de ces points d'appui fassent des angles α_0 et α_0' avec les plans formant les sections extrêmes de la ferme avant toute déformation, et que, par un moyen ou par un autre, on amène les sections extrêmes de la ferme à coïncider avec les plans des points d'appui, alors on a les équations de conditions suivantes :

1° Le mouvement angulaire entre les deux sections extrêmes est :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \int \frac{\mu}{EI} da; \qquad (24)$$

2° L'accroissement de la corde par rapport à des axes entraînés dans le mouvement de la section A est : $g - l\,(1 - \cos.\,\alpha_0)$; ce dernier terme est presque toujours extrêmement petit et absolument négligeable. On aura donc, pour la variation de la corde, l'équation suivante :

$$g = \int \frac{\mu y}{EI} da - \int \frac{N\,da}{\Omega E}. \qquad (25)$$

Les y sont comptés à partir de l'horizontale passant par le point A.

3° Le relèvement du point B par rapport à des axes entraînés dans le mouvement de la section A est égal à : $h - l \sin.\,\alpha_0$.

En raison de la petitesse de l'angle, nous pouvons prendre l'angle lui-même au lieu de son sinus, et écrire l'équation suivante :

$$h - l\alpha_0 = \int \frac{\mu(l-x)}{EI} da + \int \frac{\pi\,da}{\Omega E} \qquad (26)$$

Digitized by Google

en comptant les x depuis la verticale passant par le point A, et en comptant comme positif les poids P′, P″, etc.

Dans toutes ces formules, les moments sont positifs quand ils tendent à ouvrir l'arc.

C'est dans ces trois équations (24), (25) et (26) qu'il faut introduire la valeur de μ donnée par l'équation (9).

On a ainsi :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \int \frac{\mathcal{M}}{EI}\,da - N\int \frac{y}{EI}\,da + \mu_0 \int \frac{(l-x)}{EIl}\,da + \mu_0' \int \frac{x}{EIl}\,da \qquad (27)$$

$$g = \int \frac{\mathcal{M}\,y}{EI}\,da - N\int \frac{y^2}{EI}\,da + \mu_0 \int \frac{(l-x)y}{EIl}\,da + \mu_0' \int \frac{xy}{EIl}\,da - N\int \frac{da}{\Omega E} \qquad (28)$$

$$h - l\alpha_0 = \int \frac{\mathcal{M}(l-x)}{EI}\,da - N\int \frac{y(l-x)}{EI}\,da + \mu_0 \int \frac{(l-x)^2}{EIl}\,da$$

$$+ \mu_0' \int \frac{x(l-x)}{EIl}\,da + \int \frac{\pi\,da}{\Omega E}. \qquad (29)$$

Dans ces trois équations les inconnues sont N, μ_0 et μ_0'. Les intégrales sont toutes des quantités déterminées dès que les dimensions de la pièce courbe et les charges qu'elle porte sont connues; elles entrent dans l'équation soit comme constantes, soit comme coefficients.

Ainsi, et c'est une remarque bien importante sur laquelle il est utile d'insister, parce qu'elle n'a pas encore été suffisamment mise en lumière, *le problème général conduit à 3 équations du 1er degré à 3 inconnues; les coefficients qu'affectent ces inconnues sont des intégrales qui dépendent de la forme et des dimensions de la pièce, indépendamment des efforts qu'elle peut avoir à supporter; la constante est une intégrale dépendant des dimensions de la pièce et de la répartition des charges qu'elle supporte.*

On voit donc tout de suite que si la forme de la pièce et la répartition des charges sont définies par des lois géométriques assez simples, on peut intégrer exactement les équations; s'il en est autrement, on peut toujours résoudre ces équations avec l'approximation qu'on voudra à l'aide de constructions graphiques.

La simplicité sous laquelle la constante se présente résulte de l'introduction des moments fléchissants $\mathcal{M}$ qui se produiraient pour une poutre simplement posée.

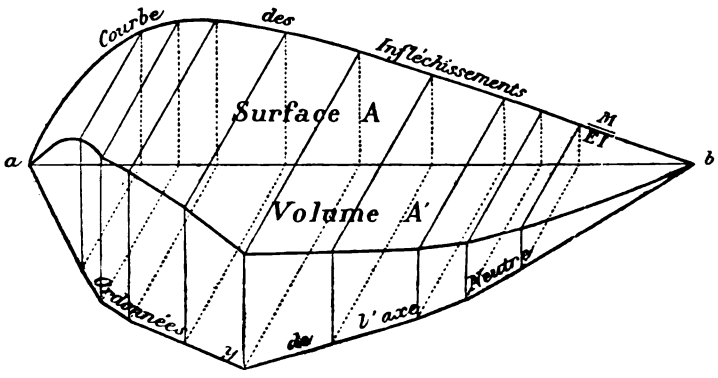
Voici comment on peut disposer les calculs graphiques de ces intégrales :

1° Sur une ligne ab, dont la longueur est égale à celle de l'axe neutre

Digitized by Google

développé, on porte en ordonnées *les infléchissements* en chacun des points, et la surface comprise entre la courbe des infléchissements et la ligne $a\,b$

Fig. 5.



donne le mouvement angulaire en comptant comme positives les surfaces au-dessus de la ligne, et négatives celles qui sont en dessous.

En traçant ainsi la courbe des infléchissements : $\frac{M}{EI}$, $\frac{y}{EI}$, $\frac{l-x}{EIl}$, $\frac{x}{EIl}$ on obtient les surfaces A, B, C, D, et la première équation de condition devient :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = A - BN + C\mu_0 + D\mu_0'. \qquad (30)$$

2° Sur les surfaces précédentes, et dans un plan perpendiculaire, on porte les valeurs des y correspondantes à chaque section, on obtient ainsi des volumes qui ont les surfaces A, B, C, D pour bases, et pour hauteur les ordonnées y. Ces volumes sont positifs quand ils correspondent aux mouvements angulaires positifs et à des ordonnées positives. La somme des volumes pour une courbe d'infléchissement donne le déplacement horizontal qui en résulte.

On obient donc ainsi des volumes A', B', C' et D', qui représentent les intégrales de l'équation (28).

Quant à la valeur de $\int \frac{da}{\Omega E}$, on la construit de la même manière, en portant sur une ligne $a\,b$, développement de l'axe neutre, des ordonnées égales à $\frac{1}{\Omega E}$. La surface de cette dernière épure représente entre deux points de l'axe neutre le raccourcissement produit par la compression de 1 kil. La surface, entre les deux extrémités a et b, donne le raccourcissement total pour 1 kil. de compression elle est égale à $-G'$.

Digitized by Google

Introduisant ces valeurs dans la seconde équation de condition, elle devient :

$$g = A' - (B' + G')\,N + C'\underset{0}{\mu} + D'\underset{0}{\mu'}. \qquad (31)$$

3° Enfin, en portant sur les surfaces des mouvements angulaires les valeurs de x, on obtient des volumes qui représentent les coefficients A″, B″, C″ et D″, et qui remplaceront les intégrales dans l'équation n° (29).

La valeur de $\int \frac{\pi\, da}{\Omega E}$ se construit en portant sur l'axe neutre ab des ordonnées représentant $\frac{\pi}{\Omega E}$. La surface totale est égale à H″.

Introduisant ces valeurs dans la troisième équation de condition, elle devient :

$$h - l\alpha_0 = A'' + (H'' - B'')\,N + C''\underset{0}{\mu} + D''\underset{0}{\mu'}. \qquad (32)$$

Les valeurs de N, $\underset{0}{\mu}$, $\underset{0}{\mu'}$, tirées des trois équations (30), (31) et (32), sont reportées dans l'équation générale (9), qui se trouve ainsi résolue.

On remarquera combien cette forme de calcul est commode dans la pratique. Arrivé à ce point, on peut modifier les hypothèses des mouvements angulaires α_0 et α_0', et des déplacements h et g, sans avoir à changer ni la constante, ni les coefficients qu'on vient de calculer. Et, si même on change la distribution et la valeur des charges, il suffit de calculer à nouveau l'intégrale contenant $\mathcal{M}$, qui constitue la constante.

Tous les ingénieurs qui savent par expérience combien il est souvent intéressant et utile de changer les hypothèses qu'on a faites, suivant les indications données par le calcul, seront certainement frappés de la simplicité avec laquelle ces modifications peuvent être introduites dans une étude qu'on a toujours considérée comme longue et laborieuse.

Discussion des équations. — Nous allons passer en revue quelques-uns des cas qui se rencontrent dans la pratique et qui conduisent à des simplifications dans les équations.

1° Lorsque la pièce est symétrique, les coefficients des moments d'encastrement dans les équations (27) et (28) sont égaux :

$$\int_B^A \frac{(l-x)\,da}{EIl} = \int_B^A \frac{x}{EIl}\,da, \qquad (33)$$

et

$$\int_B^A \frac{y\,(l-x)}{EIl}\,da = \int_B^A \frac{xy}{EIl}\,da. \qquad (34)$$

Donc, dans une pièce symétrique, un moment d'encastrement agissant sur l'une ou l'autre extrémité, produit, dans les deux cas, des mouvements

Digitized by Google

angulaires et des accroissements de corde égaux. Mais cependant les flèches de B parrapport à A et de A par rapport à B ne sont pas égales.

2° Lorsque la pièce repose sur des tourillons, les extrémités sont libres de tourner, et les moments $\underset{o}{\mu}$ et $\underset{o}{\mu'}$ deviennent nuls; alors les inconnues sont : α_o et α'_o. Si on ne tient pas à déterminer ces mouvements angulaires, on n'a à résoudre que l'équation (28) qui est réduite à :

$$g = \int \frac{\mathcal{M} y}{EI} da - N \int \frac{y^2}{EI} da - N \int \frac{da}{\Omega E}. \qquad (35)$$

3° Si les points d'appui coïncident exactement avec les dimensions données à la pièce courbe lors de sa construction, alors on a :

$$\alpha_0 = 0 \quad \alpha_0' = 0 \quad g = 0 \quad h = 0 \qquad (36)$$

4° Si la pièce est simplement posée sur les appuis, c'est-à-dire, si elle n'éprouve que des réactions verticales, alors $N = 0$.

5° Si la pièce étant symétrique, la charge est symétriquement distribuée, alors :

$$\int_B^A \frac{\pi da}{\Omega E} = 0.$$

Si, en outre, les moments d'encastrement sont égaux, et que les points d'appui n'éprouvent pas de déplacements verticaux, où ce qui est la même chose $\alpha_o = -\alpha_o'$ et $h = 0$; alors la section du milieu n'éprouve qu'un déplacement vertical sans mouvement angulaire. En rapportant les mouvements à cette section on a les mouvements réels, le nouvel α_o de la section du milieu devenant nul.

6° Si la pièce est droite, alors $y = 0$, et les trois équations (27) (28) et (29) deviennent :

$$\alpha_o - \alpha_o' = \int \frac{\mathcal{M}}{EI} da + \underset{o}{\mu} \int \frac{(l-x)}{EIl} da + \underset{o}{\mu'} \int \frac{x}{EIl} da \qquad (37)$$

$$g = N \int \frac{da}{\Omega E} \qquad (38)$$

$$h - l\alpha_o = \int \frac{\mathcal{M}(l-x)}{EI} da = \underset{o}{\mu} \int \frac{(l-x)^2}{EIl} + \underset{o}{\mu'} \int \frac{x(l-x)}{EI} da + \int \frac{\pi da}{\Omega E}. \qquad (39)$$

Ces dernières équations sont celles d'une poutre droite dans la portion comprise entre deux points d'appui. Si la force N est nulle, si on néglige l'effort tranchant π, et enfin, si on suppose le moment d'inertie constant,

Digitized by Google

ce qu'on fait, trop souvent d'une manière inconsciente, on trouve les équations :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \frac{1}{EI}\left\{\int \mathcal{M} dx + (\mu_0 + \mu_0')\frac{l}{2}\right\} \qquad (40)$$

$$\alpha_0 l = \frac{1}{EI}\left\{\int \mathcal{M}(l-x)\,dx + (2\mu_0 + \mu_0')\frac{l^2}{6}\right\} \qquad (41)$$

Dans le cas d'une charge uniformément répartie, remplaçant $\mathcal{M}$ par sa valeur, on retrouve les équations de Clapeyron (43) et (44); en effet :

$$\int \mathcal{M}\, dx = \frac{2}{3}\frac{pl^2}{8} l = \frac{pl^3}{12},$$

$$\int \mathcal{M}(l-x)\, dx = \frac{pl^3}{12} \times \frac{l}{2} = \frac{pl^4}{24};$$

alors

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \frac{l}{EI}\left\{\frac{pl^2}{12} + \frac{\mu_0 + \mu_0'}{2}\right\}, \qquad (42)$$

et

$$\alpha_0 = \frac{l}{EI}\left\{\frac{pl^3}{24} + \frac{2\mu_0 + \mu_0'}{6}\right\}, \qquad (43)$$

remplaçant cette valeur dans (42),

on a :

$$\alpha' = -\frac{l}{EI}\left\{\frac{pl^3}{24} + \frac{\mu_0 + 2\mu_0'}{6}\right\}. \qquad (44)$$

7° Pour retrouver les équations analytiques d'un arc circulaire à section constante, il faut remplacer dans les équations (27), (28) et (29) les valeurs y, da et $\mathcal{M}$ en fonction de x.

8° On calcule l'effet de la variation de température en écrivant que la corde s'est raccourcie d'une quantité égale à l'augmentation de longueur qu'elle aurait éprouvée si elle avait été libre de se dilater.

Remarque. — Le mouvement angulaire et le déplacement d'une section S par rapport à une section A, sont obtenus en intégrant les équations (24), (25) et (26) entre S et A au lieu de les intégrer sur toute la longueur de B en A, et alors l doit être remplacé par l'abscisse du point S.

Extension à donner aux équations. — Les équations qui viennent d'être établies, pour le cas d'une pièce courbe plane chargée de poids agissant verticalement, peuvent être étendues :

1° Au cas de pressions obliques, comme celles occasionnées par un vent qui pousse une ferme dans son plan; cela introduit dans les équations de nouveaux coefficients, analogues aux précédents. C'est un cas qui a été calculé pour la ferme de la galerie des machines de l'Exposition;

Digitized by Google

2° Au cas de pressions transversales, comme celles occasionnées par un vent qui pousse un arc de pont dans le sens de la vallée qu'il traverse; c'est le cas du pont du Douro, qui est soumis aux vents violents de la mer. Le calcul se fait alors facilement : en calculant l'effet du vent séparément, et en ajoutant les résultats aux autres causes de déformations qui agissent déjà sur l'arc; et en prenant sur l'épure, les forces et leurs bras de levier pour en calculer les moments, par rapport à la section considérée. Le vent agissant transversalement à un arc produit des moments fléchissants et des moments de torsion. Les premiers entrent seuls dans la détermination des moments d'encastrement aux naissances.

Conclusions. — La méthode qui vient d'être exposée à nouveau fait ressortir, comme on l'a déjà dit, que, dans le calcul des pièces courbes, les inconnues n'entrent qu'au premier degré, et que les intégrales à calculer sont des constantes ou des coefficients qui dépendent entièrement des formes de la pièce et des charges qu'elle doit supporter.

Toute pièce matérielle a des propriétés mécaniques qui sont : l'élasticité de la matière qui la compose, élasticité qui peut varier d'un point à l'autre; la forme de la section qui est définie au point de vue de la flexion par le moment d'inertie, et au point de vue de la compression et de l'effort tranchant, par la superficie de la section et ses éléments de continuité; la forme de l'axe neutre, dont la position doit être déterminée.

Les calculs nécessaires pour faire ce qu'on pourrait appeler la description mécanique de la pièce, c'est-à-dire pour déterminer l'axe neutre, le moment d'inertie et la section en chaque point sont longs, surtout quand la pièce a des formes très-variées.

Une fois les propriétés mécaniques figurées par des courbes, ce qui est le moyen le plus exact de les représenter, on procède au calcul des coefficients soit des moments d'encastrement, soit de la poussée N; enfin on trace les différentes courbes des moments fléchissants dus aux différentes hypothèses de surcharge.

Les équations de condition sont alors fort simples à écrire et rapidement résolues.

Le mode de calcul des coefficients par une surface représentant les mouvements angulaires et un volume qui donne les mouvements d'un point quelconque, par rapport à un autre point, en le coupant à la hauteur correspondante à ce point, conduit à des considérations, que l'heure avancée ne permet pas de développer; mais qui mettent rapidement et sûrement l'ingénieur à même de connaître les dimensions qu'il doit donner aux différentes parties de son œuvre.

M. LE PRÉSIDENT regrette que l'heure avancée ne permette pas à M. de Dion de donner de plus amples développements à sa communication. Il croit être l'interprète de la Société, en remerciant son Président d'avoir bien voulu lui communiquer un travail aussi capital, et de l'avoir exposé d'une manière qui a produit une grande impression sur l'assistance. La

Digitized by Google

discussion sur cette importante communication pourra s'ouvrir dans une des prochaines séances, et il est à désirer que ceux des Membres que la question intéresse, ne manquent pas d'y venir prendre part.

MM. Belin, Chanoit, Armand-Delille, Denize, Llatas, Martin, Moreau, Quillacq et Varlet ont été reçus Membres sociétaires, et M. Wyse, Membre associé.

Séance du 16 Novembre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 novembre est adopté.

M. Goschler au sujet du procès-verbal exprime le vœu que la communication si remarquable de notre Président, fournisse à notre Bulletin un Mémoire complet que tous les Ingénieurs puissent étudier et consulter.

M. le Président fait part du décès de MM. Foulon, Y Tudo et Legat (Camille), membres de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. Eiffel, membre de la Société, vient d'être nommé Commandeur de l'Ordre de la Conception du Portugal, à l'occasion de l'inauguration du pont du Douro (Portugal).

L'ordre du jour appelle la communication de M. Barrault sur la loi des brevets d'invention en Allemagne.

M. Émile Barrault expose qu'il a eu l'occasion, en 1872, de signaler la situation de l'Allemagne au point de vue de la protection industrielle, et beaucoup trouvaient ses appréciations un peu sévères.

Les Allemands se sont eux-mêmes chargés de constater combien, au contraire, étaient graves les conséquences résultant de l'état de choses qu'ils avaient maintenus en Prusse et en Allemagne malgré les lois sur les brevets qui existaient :

En Prusse depuis le 14 octobre 1815;
En Wurtemberg, le 5 août 1836;
En Bavière, le 10 février 1842;
Duché de Baden, le 22 septembre 1842;
Saxe, le 31 juillet 1843;
Pour le Zollverein, le 29 juin 1843.

En effet, les commerçants et les industriels allemands ont fini par comprendre que le régime de la piraterie industrielle était loin d'être favorable à leurs véritables intérêts.

Digitized by Google

Quelle était, en effet, la situation de l'Allemagne avant la nouvelle loi du 1er juillet 1877 sur les brevets, d'après certains documents officiels.

M. Barrault dit qu'il a déjà publié la traduction d'une pétition adressée le 16 août 1876, au chancelier de l'empire dans le but de réclamer une bonne loi sur les brevets; cette pétition s'appuyait sur les considérations suivantes :

1° Mettre l'industrie allemande, *qui est loin derrière celle des autres nations*, au même niveau que celles-ci, et par là lui *rendre* les moyens d'exportation;

2° C'est au manque de protection des inventions que sont dues en grande partie l'*instabilité et la déloyauté* JUSTEMENT REPROCHÉES à l'industrie allemande;

3° C'est par suite de ce manque de protection que la considération des Allemands, et *même celle de l'empire*, est si lourdement atteinte à l'étranger, etc., etc.

Cette pétition était signée, pour le *Comité de l'Union allemande*, par M. *Siemens*, membre de l'Académie royale des sciences.

M. Barrault dit qu'il résulte des renseignements qu'il a en sa possession que les développements de l'industrie allemande, dans les dix années comprises entre 1866 et 1876, reposent :

1° Sur l'imitation des inventions étrangères à l'aide du refus des brevets aux inventeurs, et des enquêtes systématiquement secondées par le gouvernement auprès des fabriques étrangères;

2° Sur le bas prix de la main-d'œuvre.

L'industrie allemande était trop intelligente, trop jeune et trop pauvre pour lutter à l'aide de créations originales contre les États industriels ses aînés; en conséquence, au lieu de créer du nouveau, elle imitait.

On puisait dans les publications officielles et particulières des inventions faites par les autres États, et lorsque cela n'était pas suffisant, on poursuivait « des investigations sur les installations et les méthodes de fabrica-« tion avec l'appui *systématique* du gouvernement. »

On pouvait faire ainsi une concurrence fructueuse aux produits étrangers non-seulement en Allemagne, mais sur les marchés étrangers, puisque les *imitations* s'exécutaient sans aucune forme de création ou de payement aux créateurs.

Mais le résultat de ce développement de l'industrie par de tels moyens fut que bientôt les produits allemands eurent à l'étranger, aussi bien que dans leur pays même, la réputation « d'être, il est vrai, *à plus bas prix*, mais « aussi *plus mauvais* que les produits similaires étrangers, de telle sorte que « les manufacturiers allemands qui voulaient bien fabriquer se voyaient « *obligés* de mettre de *fausses marques étrangères* sur leurs produits. »

C'est alors que l'Angleterre prohiba chez elle l'importation des produits revêtus de fausses marques anglaises, et fit des traités de commerce pour réprimer cette *détestable pratique*.

La déconsidération à l'étranger des produits allemands se maintint, se

Digitized by Google

développa rapidement et diminua l'exportation, restreignant même le débit des meilleures maisons.

Il y eut, en outre, deux coups terribles :

Le perfectionnement de la fabrication par machines-outils, en Amérique, Angleterre, France et Belgique, permit de lutter avantageusement contre le bas prix de la main-d'œuvre allemande. Par exemple, on peut dire que les machines à coudre et les montres, horloges et coucous de l'Amérique inondèrent le marché allemand, malgré la vieille industrie de la Forêt-Noire.

En effet, les fabrications spéciales appuyées sur un privilége d'inventeur purent alors se faire *par masse*, et l'imitation devint impossible à cause des frais trop grands d'installation et d'exploitation, outre les risques à courir et l'inconvénient de lutter sur des marchés où l'avantage était acquis aux promoteurs.

Le deuxième coup, qui fut mortel pour l'industrie d'exportation allemande, fut le développement malsain du système de crédit résultant de la spéculation effrénée, conséquence de la guerre de 1870, et la dépréciation de la monnaie en même temps qu'une hausse générale des prix de main-d'œuvre.

Les moyens employés jusqu'alors et qui avaient donné des avantages à l'industrie allemande disparaisaient. Le seul remède pour rétablir l'exportation était donc :

De favoriser les facultés créatrices et novatrices;

D'établir la solidité et la probité du commerce et des moyens d'action usités.

Il fallait, en conséquence, réformer les lois, les habitudes gouvernementales et les traditions du pays.

L'industrie n'était considérée jusqu'alors en Allemagne que comme un moyen de rapport, et ne jouissait d'aucune influence ou considération dans la haute société.

Il n'existait, dans l'organisation gouvernementale, aucune place pour l'ingénieur civil et surtout pour les praticiens. L'*architecte* était le seul organe technique du gouvernement pouvant aspirer aux places et aux honneurs.

« C'est par l'étude de l'architecture seule que l'on pouvait, non-seulement « construire des palais et des maisons, mais aussi des routes, des ponts, « des canaux, des chemins de fer, voire même des télégraphes. »

Le contrôle des architectes était *nécessaire* pour l'établissement d'une usine privée.

Un tel système ne permettait d'avoir ni des architectes, ni des ingénieurs éminents, et l'on arriva à comprendre l'une des raisons de la déconsidération de l'industrie dans l'État et dans la société.

Les hommes techniques, en petit nombre, que l'on pouvait citer comme parvenus par leur savoir et leurs travaux marquants, se retiraient découragés

Digitized by Google

des emplois publics pendant que la médiocrité y réussissait là comme partout ailleurs.

Enfin, les capitaux manquaient, ne trouvant pas de rémunération suffisante à espérer.

M. Barrault expose que, dans l'industrie organisée, il y a une série de capacités distinctes qui s'emploient et se complètent, et dont l'ensemble est nécessaire à la fabrication progressive.

Ce sont d'abord l'inventeur, puis l'ingénieur, et ensuite les dessinateurs, constructeurs ou fabricants, les capitalistes, les contre-maîtres, ouvriers et manœuvres; il expose le rôle de chacun en insistant sur l'utilité de l'inventeur et de l'ingénieur réalisant des choses nouvelles; il constate que ce sont les inventeurs et les ingénieurs, créateurs et innovateurs, qui font la gloire et le succès des nations, telles que la France, l'Angleterre, la Belgique et les États-Unis, tandis que le Prusse manque de ces hommes techniques, si importants et si essentiels au développement de l'industrie.

L'économie sociale théorique avait prétendu « que les brevets d'invention « ne favorisent pas l'invention et ne procurent aucun bénéfice à l'inven- « teur; que la mise en œuvre et l'introduction des inventions se fait mieux « et plus vite par le travail *sans entraves de tous* plutôt que par l'inventeur « lui-même. »

La pratique de l'Allemagne a prouvé le contraire, et M. Barrault pense que l'expérience sera décisive, car la Suisse prépare déjà une loi sur les brevets.

Pour inventer, il faut d'abord des hommes doués de la faculté d'invention, du génie créateur; ces hommes développent leurs facultés là seulement où ils trouvent le milieu favorable et la protection de leurs travaux; si non ils vont porter ailleurs leur activité, leur puissance créatrice et leurs productions.

C'est ce qui arrivait en France avant la loi de 1791. Ainsi, Nicolas Briot, en 1615, imagina le balancier pour frapper les médailles et le porta en Angleterre;

Le moulin à papier et à cylindres, inventé en 1630, fut porté en Hollande;

Le métier à bas fut inventé à Nîmes et porté en Angleterre, etc.

C'est ce qui est arrivé en Allemagne, où *Siemens*, l'inventeur du four régénérateur, s'est fait naturaliser Anglais en dotant sa nouvelle patrie de la belle invention qu'il pouvait y faire privilégier et de toutes ses autres créations.

D'ailleurs, si les brevets ne donnent pas toujours un produit effectif, ils donnent aux inventeurs l'espérance et le courage; et si leur œuvre est bonne, le privilége qu'ils ont obtenu peut leur donner honneur et richesse, peut-être tous les deux, et les inventeurs sont en somme les meilleurs juges de leur intérêt.

C'est une erreur manifeste, et aujourd'hui démontrée pratiquement, de croire que le *travail de tous* développe et met en œuvre les inventions plus

Digitized by Google

vite et mieux que le travail fait sous la direction et le contrôle de l'inventeur intéressé. En effet, les progrès techniques ont été les plus considérables dans les pays où l'inventeur a été le mieux protégé, et il est nul dans les contrées où il n'y a aucune protection de sa propriété.

Les théoriciens en économie sociale partent habituellement de ce point de vue faux, qu'une invention n'est qu'une *idée*, née sans peine, et qu'un autre pourrait trouver également; ils opposent alors l'invention au travail, c'est-à-dire, la *conception* à la *création*. Ils confondent ainsi *idée* avec *invention*, quoique ce soient deux choses très-différentes.

Une idée en elle-même est sans valeur; elle ne devient invention brevetable qu'après avoir parcouru un chemin pénible, coûteux et souvent dangereux pour l'inventeur.

C'est, pour ainsi dire, un travail de même nature que celui de l'artiste qui concevrait un projet de statue ou d'objet d'art, ce qui n'est qu'une *idée*, puis qui réaliserait cette conception pour faire la statue ou l'objet d'art, ce qui est l'*œuvre*.

Pour l'inventeur il reste encore, après la création, à subir les plus grandes difficultés, l'épreuve de la pratique à laquelle beaucoup succombent; puis vient le combat, et c'est le plus vif, contre la tradition, la routine, les préjugés et la puissance d'inertie de ce qui existe.

Jamais le travail de *tous* ne peut satisfaire à ces multiples conditions, et d'ailleurs, il y aurait une perte de force sociale s'il fallait que tous ou plusieurs fissent parcourir en même temps à une seule invention ce même chemin pénible et coûteux; ce serait bien peu économique.

En réalité, l'amour paternel de l'inventeur pour son œuvre, joint à la perspective de grands honneurs et profits futurs, peut seule provoquer la somme de sacrifices, en travail, en démarches et en argent, qui est nécessaire pour la réalisation et la vulgarisation d'une invention importante.

Il faut compter aussi avec le sentiment de justice qui se révolte chez l'inventeur en face du préjudice injuste qu'il subit, lorsque son invention, l'enfant de ses veilles, et de ses peines, se trouve sans protection de la société, et périt ou devient la proie facile des autres.

C'est cette injustice d'une protection sérieuse refusée à sa propriété, qui le plus souvent déterminait l'inventeur allemand, plus que la considération du gain matériel, à chercher préférablement à l'étranger le placement et la protection de son œuvre, plutôt que de l'abandonner au travail de tous dans sa propre patrie.

En Allemagne il s'était établi une morale et une manière d'envisager les droits de l'intelligence toutes différentes de celles des autres nations civilisées.

Pendant qu'en Angleterre, en France, en Belgique et aux États-Unis on trouve qu'il n'est pas honorable d'utiliser les inventions d'autrui sans le consentement de l'inventeur, même lorsque les brevets sont douteux ou qu'il n'y en a pas, ce mode d'agir était regardé en Allemagne, non-seulement comme très-convenable, mais en beaucoup de cas comme très-méritoire.

Digitized by Google

Comme exemple caractéristique il suffit d'indiquer qu'en Prusse des administrations techniques de l'État ne se faisaient aucun scrupule de remettre à des manufacturiers, comme modèles à suivre, des appareils nouveaux et des installations nouvelles établis par d'autres manufacturiers à force de peines, d'études et d'argent, ou encore de mettre ces travaux en adjudication pour en donner l'exécution au moins offrant.

M. Barrault montre, dans un journal allemand, les annonces de machines indiquées comme contrefaites d'après les machines étrangères. C'était une recommandation au point de vue de la vente à bon marché.

Cette morale ayant peu à peu pénétré de haut en bas toutes les couches du monde industriel et commerçant, les efforts pour faire du nouveau et du meilleur sont devenus de plus en plus rares, laissant régner souverainement *la concurrence du bon marché.*

L'exposition de Philadelphie a révélé cette situation avec éclat.

M. Barrault cite un résumé du rapport de M. Reuleaux, commissaire du gouvernement allemand à Philadelphie, directeur des arts-et-métiers à Berlin.

C'est à la suite de la constatation de cet état de choses que le gouvernement s'est décidé à faire pour l'empire allemand des lois sur les marques de fabriques, les dessins de fabrique, et enfin la loi sur les brevets qui est en vigueur depuis le 1er juillet 1877.

Cette loi comporte un ensemble constitué à l'aide de dispositions empruntées aux lois d'Angleterre, des États-Unis, de France, de Belgique et de Suède, auxquelles sont ajoutées certaines dispositions nouvelles, savoir :

1° Pour l'indigent constaté, le payement des taxes d'annuités peut être ajourné pendant une, deux ou trois années, et même, si le breveté renonce alors à son privilége, on lui fait remise des annuités dues;

2° Les articles 5 et 11 de la loi permettent la préemption, sorte d'expropriation de l'invention, en cas d'utilité publique;

3° La possibilité pour le gouvernement de mettre au secret les inventions qu'il veut s'approprier pour l'usage des armées ou de l'industrie.

A l'Angleterre, la loi allemande emprunte le système de la protection provisoire de 6 mois et du délai d'opposition de 21 jours qu'elle porte à huit semaines pour les deux délais correspondants.

Aux États-Unis elle emprunte :

1° L'examen préalable avec l'organisation de la procédure et d'une Cour des Brevets, ainsi que d'une commission technique d'examen jugeant la nouveauté des inventions et décidant sur les oppositions présentées;

2° L'obligation d'indiquer sur les produits brevetés la date du privilége;

3° L'exigence d'un modèle pour les armes à breveter.

A la France :

1° La durée de quinze années;

2° Le système de payement par annuités;

Digitized by Google

3° L'usage des additions de brevets expirant avec le privilége principal ;

4° L'exigence d'une fabrication dans le pays qu'elle réclame au bout de trois années au lieu de deux.

A la Belgique, à l'Italie et l'Autriche :

1° L'emploi d'annuités progressives variant depuis 50 marcs, ou 62f,50, pour chacune des deux premières années, jusqu'à 700 marcs, ou 875 francs, pour la quinzième, soit une augmentation de 50 marcs par année ;

2° L'accord d'un délai de payement pour les annuités qui est de trois mois après leur échéance.

A la Suède :

Le système de représentation permanent de l'inventeur étranger par un régnicole.

Pour faciliter la publication des brevets, l'Allemagne a établi des dimensions précises pour les dessins, comme l'Angleterre, les États-Unis et l'Italie le faisaient déjà. La Belgique vient de suivre cet exemple à la date du 1er septembre. On peut ainsi les reproduire facilement par la photo-lithographie, et c'est pour cela que la loi exige que les dessins soient remis sans être pliés ou roulés.

M. Barrault donne communication d'un tableau synoptique qu'il vient de publier et qui compare les lois des divers pays les plus importants, et il donne le détail complet des exigences de la loi allemande.

M. Barrault fait remarquer que cette nouvelle loi, malgré ses imperfections, constitue un progrès réel sur l'ancien état de choses, mais que la manière dont elle sera appliquée n'est pas encore bien connue. Cependant il signale que pendant les quatre mois de juillet, août, septembre et octobre 1877, il a été déposé 4,000 demandes ; que sur ce nombre la commission technique en a fait publier au *Journal officiel* près de neuf cents, et que déjà soixante brevets sont définitivement concédés, ayant franchi les délais d'opposition.

On peut estimer que les refus de la commission technique seront dans la proportion de 5 pour 100, mais on ne sait rien encore de précis sur la question des oppositions.

M. Barrault donne ensuite connaissance de l'organisation des agents de brevets allemands qui se sont syndiqués en constituant une société dont il indique l'objet et les articles les plus importants.

M. Barrault termine par des considérations générales sur les progrès de l'industrie et sur l'avantage général qui résultera pour tous de la nouvelle loi allemande, et des tendances du gouvernement à réagir contre les habitudes antérieures de l'industrie et du commerce allemand.

M. Goschler ne peut laisser passer sans la relever l'assertion émise par M. Barrault que l'Allemagne manque d'ingénieurs. La Saxe, le Hanovre possèdent des corps d'ingénieurs des mines, et dans les chemins de fer il y a aussi des ingénieurs distingués, universellement connus. De plus il y a des écoles polytechniques renommées à Carlsruhe, Berlin, etc.

M. Barrault reconnaît qu'en Allemagne il y a des ingénieurs des mines,

Digitized by Google

des métallurgistes et des chimistes éminents; il ajoute que la Saxe, le Hanovre possèdent spécialement des ingénieurs remarquables; mais ce qu'il a dit s'applique plutôt à la Prusse où le corps officiel des hommes techniques est formé exclusivement d'architectes ayant les connaissances spéciales de l'architecte, mais ne possédant pas à un même degré celles de l'ingénieur, et qui absorbent pourtant toutes les fonctions publiques. Les Écoles polytechniques sont loin de ressembler à nos Écoles, et n'ont pas la valeur technique, par exemple, de notre École polytechnique ou de l'École centrale en ce qui concerne la mécanique.

M. Jordan parle dans le même sens que M. Goschler. Il a rencontré, partout en Allemagne, des ingénieurs très-savants, soit qu'ils appartinssent aux Mines ou au Génie civil. Il ne croit pas que les causes données pour l'abaissement de l'industrie en Allemagne, soient celles accusées par M. Barrault.

M. Barrault répète que les documents qu'il a cités proviennent des dires de la réunion des manufacturiers allemands. Il n'aurait pas osé formuler de telles assertions, s'il ne les tenait des intéressés allemands eux-mêmes.

M. Régnard demande si la loi allemande oblige à supprimer la mention: *breveté* et la date qui la suit, quand le brevet n'a plus de valeur réelle?

M. Barrault répond que la publication des brevets tombés en déchéance est faite en Allemagne très-promptement et très-régulièrement; il en résulte dès lors et de fait qu'on ne peut plus laisser subsister la mention : *breveté*.

Un Membre, revenant sur la question des Ingénieurs en Allemagne, fait une distinction, d'une part, entre les Ingénieurs faisant partie d'une association puissante, lesquels ont les moyens de faire prévaloir leurs idées et de les mettre à exécution, et, d'autre part, ceux qui sont isolés et qui n'ont pas, comme en France, la possibilité de faire admettre leurs inventions. Il doit en résulter que le Génie civil en Allemagne doit être peu prospère, puisque les Ingénieurs, autres que ceux attachés aux Compagnies ou à l'État, n'ont aucune chance de recueillir le fruit de leurs études.

M. Maxwell-Lyte aurait désiré que M. Barrault parlât de la nouvelle loi sur les brevets qui va paraître en Angleterre, laquelle s'est assimilée une partie de la loi allemande et qui, en général, est basée sur le résultat des conférences qui ont eu lieu sur ce sujet à la suite de l'Exposition de Vienne. Un reproche à faire à la loi allemande est l'élévation de ses tarifs.

M. Barrault dit que le prix des brevets en Allemagne est plus élevé que dans tout autre pays, mais que cela sera évidemment modifié.

M. le Président remercie M. Barrault de sa communication.

M. Cornuault donne communication du Mémoire de M. Gazan, sur les hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson.

La production de la fonte est d'autant plus intéressante à étudier dans le bassin de la Moselle, que ce pays est le seul en France, ayant à la fois minerais et combustibles, à des conditions aussi économiques, et avec une abondance aussi considérable : minerais fournis par l'immense gisement de

Digitized by Google

fer oolitique, dont il va être question, cokes provenant concurremment du nord de la France (Anzin, etc.), de Belgique, du bassin de la Sarre, de celui enfin de la Rühr. La région est particulièrement bien dotée, au point de vue des voies ferrées et des canaux qui la sillonnent; aussi depuis une vingtaine d'années, de nombreuses usines se sont-elles créées dans les vallées de la Moselle et de la Meurthe.

Le département de Meurthe-et-Moselle fabrique en ce moment près du cinquième de la production totale de la France, et sa production continue à croître malgré la crise métallurgique.

L'usine de Pont-à-Mousson, la plus importante du groupe, appelle spécialement l'attention.

Minerais. — Depuis le grand-duché de Luxembourg jusqu'à Nancy, s'étend une vaste formation ferrugineuse oolitique. Le gisement de minerai de fer hydroxydé se trouve sous un grand plateau jurassique recoupé par la Moselle, la Meurthe et diverses vallées secondaires. Le minerai est composé d'une série de grains de la grosseur d'une tête d'épingle dont la couleur varie du jaune au brun bleuâtre en passant par toutes les nuances intermédiaires plus ou moins rougeâtres. Il contient beaucoup de fossiles, principalement des ammonites et des bélemnites qui le rendent malheureusement très-phosphoreux.

L'usine de Pont-à-Mousson tire son minerai de la concession de Marbache.

Concession de Marbache. — Importante concession de 588 hectares. Deux couches sont exploitées séparément : la première, sous le nom de *Chevreuse*, donne un minerai calcaire; la deuxième, sous le nom de *Voie de Liverdun*, donne un minerai alumineux dont le mélange permet d'obtenir un lit de fusion convenable sans l'emploi de castine; les analyses de ces minerais sont les suivantes :

	Chevreuse.	Voie de Liverdun.
Silice	4.61	14.98
Alumine	2.37	5.61
Chaux	16.94	11.77
Peroxyde de fer	52.36	49.48
Perte par calcination	22.45	18.16
	98.73	100.00

Ces minerais arrivent à l'usine de Pont-à-Mousson au prix d'environ 5 francs la tonne.

M. Cornuault considère ce prix comme élevé, et ajoute que pour plusieurs usines de la Meurthe le prix de revient du minerai au fourneau est inférieur à 4 francs.

Cokes. — Les cokes arrivent à l'usine à peu près au même prix (28 à 30 francs la tonne) d'Anzin, de Belgique, de la Sarre, de la Rühr. Cette concurrence permet d'abaisser à la fois les prix d'achat et de transport.

M. Cornuault fait observer que la note de M. Gazan, écrite il y a près d'un an, ne tient pas compte de la baisse des combustibles survenue depuis

Digitized by Google

lors, et que, en ce qui concerne les cokes de la Rühr, par exemple, dont le prix actuel est de 12 francs environ, il doit être possible de les obtenir rendus à l'usine de Pont-à-Mousson à un prix voisin de 24 francs.

Description de l'usine. — L'usine de Pont-à-Mousson est située aux portes de la ville, entre la route nationale de Besançon à Metz et la ligne de l'Est avec laquelle ses voies se raccordent. Elle est également en communication directe avec le canal de la Moselle, au moyen d'un passage sous les voies.

L'usine possède quatre *hauts fourneaux*, disposés sur une même ligne : deux anciens à tours carrées, de 14m,50 de hauteur et 4 mètres de diamètre au ventre; deux plus récents, à double colonnade réunie par des arcs en ogive, ayant 16m,70 de hauteur et 4m,25 au ventre.

*Soufflerie*s. — Les machines soufflantes sont au nombre de quatre : trois verticales du système de Seraing; une horizontale du système Farcot.

Appareil à air chaud. — Ces appareils sont en fonte du système bien connu dit à Pistolets.

Prise de gaz. — La prise de gaz se fait à la circonférence au moyen de tuyaux en tôle de 0m,90 de diamètre. Les gaz du gueulard traversent un épurateur sec où ils déposent la plus grande partie de leurs poussières dans une cavité inférieure, qui se vide d'elle-même au moyen d'une trappe à contre-poids.

Tuyères. — Les tuyères sont en cuivre, à double enveloppe; la maçonnerie des embrasures est protégée par des rafraîchisseurs en fonte à circulation d'eau.

Production. — Qualité des fontes. — Les fourneaux produisent une moyenne de 40 à 45 tonnes de fontes par 24 heures, et font des campagnes de 7 à 8 ans sans être arrêtés. Sur les quatre fourneaux, un marche généralement en fonte blanche d'affinage, un en fonte truitée plus ou moins grise. (Ces deux sortes sont vendues aux lamineurs de la Loire, Saône-et-Loire, du Nord et de la Champagne.) Les deux autres fourneaux marchent en fonte n° 2 et n° 3 pour moulages de première et deuxième fusion.

Ces fontes, comme toutes celles du bassin de la Moselle, ont l'inconvénient d'être phosphoreuses, et par suite peu résistantes; elles donnent au puddlage des fers se travaillant bien à chaud; elles conviennent surtout pour le moulage des tuyaux, à cause de leur grande fluidité. La composition des fontes de la Moselle varie dans des limites assez larges, suivant les couches de minerais exploités; la proportion de phosphore dépasse ordinairement 1 p. 100 et atteint même 1,6 et 1,7 p. 100.

Prix de revient. — M. Gazan indique dans son Mémoire, comme prix de revient de la fonte d'affinage, des prix variant entre 61 et 64 francs.

M. Cornuault considère ce prix comme élevé, et croit que l'on doit regarder le prix de 58 à 59 fr. comme étant le prix de revient moyen actuel de la fonte d'affinage en Meurthe-et-Moselle; certaines usines consomment même moins de 1,000 kilogrammes de coke par tonne de fonte,

Digitized by Google

ce qui réduit encore ce prix de revient applicable aux usines consommant 1,050 à 1,100 kilogrammes.

Le prix de vente de la fonte d'affinage s'éloigne peu, depuis un an, de 62 à 63 francs.

Moulage des tuyaux. — Dans la deuxième partie de son travail, M. Gazan s'étend longuement sur tous les détails de la fabrication des tuyaux, formant la principale spécialité de l'usine de Pont-à-Mousson, qui produit 10,000 à 12,000 tonnes de tuyaux par an, soit près du tiers de la production française.

Fabrication des tuyaux de bout. — Ils sont fabriqués d'une manière courante depuis 0^m,075 de diamètre, jusqu'à 0^m,30 en 3 mètres de longueur, et depuis 0^m,25 jusqu'à 0,80 en 4 mètres.

Noyaux. — On emploie, pour former l'âme des noyaux, des lanternes creuses en fonte présentant une série de trous pour le dégagement de l'oxyde de carbone à l'intérieur; sur la lanterne s'enroule une triple tresse de foin destinée à recevoir la première couche de terre, après laquelle les noyaux sont séchés. Une deuxième couche, formée de sable vert, est ensuite apposée, puis on étuve de nouveau. Les noyaux réparés, enduits de noir, sont étuvés une troisième fois avant de recevoir le badigeon.

Moules. — Les moules sont faits dans des châssis cylindriques, évasés à la partie supérieure, et armés de nervures à l'extérieur; ils présentent une série de trous pour le dégagement des gaz; les deux moitiés sont réunies par des goujons à clavette permettant le serrage.

Fosses de coulée. — Les fosses de coulée ont trois ou quatre mètres de profondeur suivant la longueur des tuyaux; elles sont cimentées pour éviter les inondations.

Les tuyaux sont coulés indistinctement en première ou en deuxième fusion, à moins de clauses spéciales dans les marchés.

La fonte de première fusion est fournie par deux des quatre hauts fourneaux produisant, en allure normale, 2,000 tonnes par mois.

Cubilots. — La fonte de seconde fusion est fournie par deux cubilots du système Voisin, présentant deux étages de tuyères réunies par une enveloppe annulaire; la pression du vent est de 3 centimètres de mercure. Chaque cubilot fond 4,500 kil. à l'heure, soit 800 tonnes par mois; les charges sont de 50 kil. de coke, 700 kil. de fonte, dont 2/3 de bocage et 1/3 de fonte grise brute.

Épreuves. — Ébarbés, désablés, les tuyaux sont conduits aux presses hydrauliques spéciales destinées à l'essai des tuyaux. Ces appareils se composent essentiellement de deux plateaux parallèles en fonte, à nervures extérieures, l'un fixe et l'autre mobile; le tuyau se place entre ces deux plateaux, dont le rapprochement est effectué au moyen d'un volant à bras actionnant une vis. Le plateau fixe présente un orifice central pour l'arrivée de l'eau; cette eau est comprimée au moyen d'une pompe foulante à bras. Les tuyaux, coulés debout, peuvent résister à 20 ou 30 atmosphères avec

Digitized by Google

des épaisseurs moyennes, tandis que coulés à plat ils ne résistaient qu'à 10 ou 15 atmosphères.

GOUDRONNAGE. — Au sortir de la presse, les tuyaux traversent une étuve où ils séjournent pendant une heure et demie, puis sont trempés tout chauds dans un bac de goudron chauffé lui-même en dessous sur toute sa longueur.

PRIX DE REVIENT. — M. Gazan, partant du prix de 81f,60 pour la tonne de fonte grise de première fusion, arrive au prix de 15f,60 les 100 kil. pour les tuyaux ordinaires.

M. CORNUAULT croit que la fonte grise brute de première fusion doit pouvoir être obtenue actuellement à un prix variant entre 70 et 75 fr. au maximum. En appliquant à cette base les données de M. Gazan, on arriverait à un prix de revient voisin de 14f,50. Ce bas prix ne permettrait guère de lutter contre la concurrence allemande, tous les jours plus redoutable malgré les droits qui nous protégent.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Cornuault du résumé qu'il vient de faire du Mémoire de M. Gazan.

M. MÉKARSKI se demande si le chiffre de 115 à 110 kilogs. donné par l'auteur du Mémoire pour la résistance de la fonte à la compression, n'est pas le résultat d'une erreur.

M. LE PRÉSIDENT explique que l'on peut atteindre ces chiffres lorsque l'essai se fait sur de très-petits cubes dont le grain est très-serré; si on prend un échantillon dans l'intérieur des pièces coulées on trouve des résistances qui tombent en moyenne aux deux tiers et même à la moitié. On ne peut pas en général induire de ces essais, la résistance ordinaire de la fonte.

D'ailleurs la discussion pourra revenir à une prochaine séance.

M. GOSCHLER a la parole pour présenter à la Société le tome IIIe de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.*

Il est donné lecture de la lettre suivante adressée par M. Quéruel :

Monsieur le Président,

Ne pouvant assister aux séances de la Société, je suis obligé de recourir à la correspondance pour répliquer aux diverses objections qui ont été faites en mon absence, dans la séance du 19 octobre dernier, à propos de ma communication sur l'utilisation de la puissance dynamique des gaz.

Voici cette partie du texte du procès-verbal dont il est question : « M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Dubuc au sujet de cette communication. Dans cette lettre M. Dubuc dit que depuis 1868 il a construit environ 150 de ces machines. »

Puis suivent les détails relatifs à des dispositions secondaires qui ne donnent aucune indication utile sur le genre de ces machines.

Or ma communication traite, en manière de revue comparative, différents systèmes de machines pour s'arrêter à une type déterminé. On pouvait donc

Digitized by Google

croire, par l'énoncé indéterminé du procès-verbal, que M. Dubuc visait précisément ce type Woolf à 180°, qui est l'objet de la conclusion de ma communication. La copie de la lettre de M. Dubuc à M. le président, et les renseignements complémentaires que je dois à l'obligeant empressement de M. Dubuc, m'ont tiré de cette incertitude et m'ont mis en mesure d'y répliquer.

Les machines que construit M. Dubuc ne sont point des Woolf à 180°, à tiroir intermédiaire équilibré, mais des Compound à 90°, à distribution ordinaire et sans condensation. Ces Compound, sans condensation, fournissent un élément des plus intéressants à consulter dans la question qui est encore pendante devant la Société : Y a-t-il, oui ou non, bénéfice à appliquer les Compound aux locomotives?

M. Mékarski est pour la négative. Il base ses raisonnements sur des calculs comparatifs dont la justesse des formules est évidente, mais dont les données sont contestables.

Il est bien vrai, en effet, que l'action utile de la détente dans une machine sans condensation a des limites restreintes. Que l'appareil soit monocylindre, ou polycylindre, cette action utile est réglée théoriquement par le rapport $\frac{P}{n}$; c'est-à-dire la pression initiale divisée par le nombre de volumes détendus.

Pour faire ressortir les effets neutralisants de la contre-pression atmosphérique, on peut déterminer la pression nécessaire pour accomplir une course de piston, dans une machine théorique dont le fonctionnement n'exigerait aucun travail. En voici deux exemples tirés de la formule :

$$K_5 P = np_o.$$

Dans laquelle $K_5 = 32395$ kilom., travail correspondant à 20 volumes de détente; P, pression variable, inconnue; $n = 20$ volumes de détente; $po = 11000$ contre-pression par m², on a :

$$P = \frac{np_5}{K_5} = 6^{atm}.791.$$

Et cette autre : $K'5 = 19602$ kilom; travail correspondant à 5 volumes de détente; $n' = 5$. V. de détente :

$$P' = \frac{n'p_o}{K_5} = 2^{atm}.806.$$

Ainsi, à $6^{atm}.8$ et une détente de 20 volumes; à $2^{atm}.8$ et une détente de cinq volumes, le travail effectif et total de la vapeur est exactement balancé par la contre-pression atmosphérique.

Je me félicite d'être d'accord sur ce point avec M. Mékarski, car le sujet est important et joue un grand rôle dans les rendements. Les mécomptes que l'on a éprouvés lorsqu'on a voulu appliquer des appareils spéciaux de détente aux locomotives sont probablement dus à des développements exa-

Digitized by Google

gérés dont, à l'avance, on ne s'était pas bien rendu compte des conséquences.

Ainsi, quel que soit le système de détente, qu'il soit simple ou composé, on ne peut se soustraire aux effets neutralisants de la contre-pression atmosphérique. Il y a une limite théorique que je viens d'indiquer, une loi avec laquelle il faut compter.

Si je suis d'accord avec M. Mékarski de ce côté, il n'en est plus de même pour la valeur de ses signes. Ainsi que je viens de le dire, les rendements croissent avec le rapport de $\frac{P}{n}$. Or M. Mékarski fait $\frac{P}{n} = \frac{7}{6}$ pour la Compound; et $\frac{P}{n} = \frac{7}{3}$ pour la mono-cylindre; tandis que l'on peut faire $\frac{P}{n} = \frac{12}{6}$ pour la Compound; puisqu'il existe des locomotives dont la pression réglementaire est de 12 à 14 atmosphères.

Mais si du chef de cette considération le travail est trop faible, d'un autre côté, il est trop fort. En effet, le travail particulier de la détente est pris, sans correctif, au taux correspondant de la détente, dans la table des logarithmes hyperboliques. Or il est constant que le travail de la détente entre deux pistons à mouvements croisés est inférieur à celui d'une détente normale. Il y a des chutes de pression en espaces nuisibles assez considérables, qui sont funestes à la bonne utilisation et réduisent considérablement le rendement. On peut s'en rendre compte en consultant les colonnes K_1, K_2, K_4 de mes tableaux, qui donnent le travail afférent aux trois modes de fonctionnement Compound. Il y a donc à se mettre en garde contre l'erreur que je viens de signaler, erreur assez répandue que l'on rencontre parfois dans des ouvrages estimés.

En somme, ces différences en plus et en moins se balancent sensiblement et le rapport de rendement de 1.15 indiqué par M. Mékarski peut être considéré comme exact.

Si le bénéfice de la Compound s'arrêtait là, il serait bien mince; mais on doit considérer que l'étagement des pressions et celui des températures ont une large part dans le résultat final. La régularité des efforts, la rondeur du mouvement, la distribution plus normale, une meilleure lubrification dans le cylindre le plus important, y participent également; et lors même que l'égalité théorique la plus absolue existerait entre les deux systèmes comparés, il y aurait, à mon avis, encore bénéfice par le système Compound. On peut citer à l'appui les machines Compound sans condensation, construites en grand nombre par notre collègue M. Dubuc. Et l'on peut considérer ce fait comme un argument des plus affirmatifs et des plus concluants, au point de vue économique, en faveur de l'application de ce genre de machines aux locomotives.

Ce n'est pas toutefois sans faire des réserves sur la consommation indiquée de 1k,600 par cheval et en eau montée pour ces machines.

J'ai eu occasion de dire que la moyenne consommation des machines à condensation de 60 chevaux était de 2k,390; il serait fort surprenant que

Digitized by Google

des appareils de 10 chevaux sans condensation réaliseraient une économie de 33 pour cent sur des appareils à condensation et six fois plus puissants. Je crois que ce point mérite d'être examiné.

Si nous faisons Q quantité de vapeur; $T_m = 278000$ kil. $v = 1^{mc},6995$, $K_2 = 16113$ kilom.; $n = 3$ volumes; $p_o = 11000$ kilom. $P = 6$ atm.; on a :

$$Q = \frac{T_m}{v\left(K_2 - \frac{np}{P}\right)} = 14^k,29 \text{ (vapeur).}$$

Et en charbon, à raison de 8 kil. de vapeur pour un kil. de charbon :

$$\frac{14,29 \times 1,33}{8} = 2^k,375 \text{ (charbon),}$$

ou en vapeur par kil. de charbon; celui-ci fixé à $1^k,600$:

$$\frac{14,29 \times 1,33}{1,600} = 11^k,875 \text{ (vapeur).}$$

D'après ces calculs, la dépense de la vapeur serait de $14^k,29$ pour le cheval indiqué, à laquelle il convient d'ajouter 33 pour cent pour passer au cheval en eau montée, soit 19 kil. Et, dans ce cas, se présente le dilemme ou 8 kil. de vaporisation, et alors $2^k,375$ de charbon; ou $11^k.875$ de vaporisation, et alors $1^k,600$ de charbon.

Quoi qu'il en soit, ce rendement ultra-théorique ne peut être que le résultat d'une erreur. Ramené à sa véritable valeur, $2^k,375$ de charbon en eau montée, quantité sensiblement égale à la condensation, ce rendement serait encore suffisant pour établir le fonctionnement économique de ces machines.

Toujours soucieux de la vérité et de la certitude, je m'empresse, toutes les fois que j'en trouve l'occasion, de contrôler mes appréciations et mes calculs. Une machine à vapeur sans condensation, détendant jusqu'à la contre-pression, dépenserait, d'après Zenner, pour une pression de 8 atm., $8^k,217$ de vapeur[1]. Comparée à ma méthode, cette même condition serait réalisée par la formule de détente de la machine Woolf à 180° d'une manière sensiblement égale.

$$Q = \frac{T_m}{v\left(K\,9 - \frac{np_o}{P}\right)} = 8^k,290.$$

En résumé, je pense que l'application des grandes détentes exige de grandes pressions. Et si cette règle est générale pour les machines à condensation, elle est impérieuse pour les machines qui en sont privées. Aussi s'il m'est permis, en terminant, de formuler un vœu, au risque de faire sourire nos maîtres, je crois le moment venu d'étudier les moyens d'établir des condenseurs quelconques, mixtes ou autres, sur les locomotives. Si ces appareils ne procuraient qu'une dépression de $0^{atm},60$ à $0^{atm},70$; ils contri-

1. Communication de M. Mallet, page 242 du recueil des procès-verbaux de 1877.

Digitized by Google

bueraient déjà, tout en donnant de l'eau distillée, très-efficacement à l'utilisation de l'eau, du combustible et à la réduction du générateur.

Veuillez agréer, monsieur le Président, etc.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu de MM. Desmousseaux de Givré et Jules Morandiere les dessins et la description du système de *locomotives à très-grande vitesse* désignées dans leur communication du 5 octobre, calculées et étudiées avec grand détail par M. Deghilage.

Séance du 7 Décembre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 novembre est adopté.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Mallet:

« Monsieur le Président,

« Dans la séance du 2 novembre j'ai dit en réponse à une observation de M. Mékarski en faveur de la vapeur surchauffée : « M. Hirn, qui a étudié « cette question théoriquement et expérimentalement, a reconnu que, même « avec la vapeur surchauffée à 230°, il se produit encore une condensation « très-notable au cylindre pendant l'admission. »

« J'ai commis, dans cette phrase, une erreur que je tiens à rectifier sans retard. La constatation de ce fait, très-important pour la théorie des machines à vapeur, est entièrement due à notre collègue, M. Leloutre.

« M. Hirn admettait volontiers des condensations modérées contre les parois, dans le cas de la vapeur saturée, mais il ne croyait pas que la vapeur surchauffée pût se condenser, alors qu'elle apportait un supplément notable de calorique.

« M. Leloutre a constaté que la vapeur même surchauffée se condense dans le cylindre (*Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur*, Société industrielle du Nord de la France). Il conclut que la vapeur surchauffée perd non-seulement tout le calorique de la surchauffe lorsqu'elle est entrée dans le cylindre, mais qu'une portion même doit se condenser et cela par suite de refroidissement contre les parois.

« Je tiens à faire cette rectification, pour rendre la juste part qui lui est due à un collègue, dont les beaux travaux sur les machines à vapeur sont si universellement connus et appréciés.

« Veuillez agréer, etc. »

M. JORDAN présente ensuite à la Société un échantillon de ferro-manga-

Digitized by Google

nèse fabriqué aux hauts fourneaux de Saint-Louis, près Marseille. Cette usine a commencé, en 1862, à entrer dans la voie alors encore à peu près inconnue de la fabrication des fontes manganésées, et elle a, dès les premiers mois de cette année, livré aux fabricants d'acier de la Loire et de l'Isère des fontes blanches, dites *à facettes*, qui contenaient 3 à 6 p. 100 de manganèse.

En 1864, à la suite de renseignements recueillis dans le pays de Siegen, elle parvenait à installer en France la fabrication courante des *fontes miroitantes* ou *spiegeleisen*, contenant de 7 à 10 p. 100 de manganèse, qui avait été jusqu'alors localisée dans les usines des bords du Rhin, dont toutes les aciéries Bessemer d'Angleterre et de France étaient tributaires.

Depuis cette époque les hauts fourneaux de Saint-Louis ont constamment travaillé à augmenter la teneur en manganèse de leurs produits : après avoir d'abord fabriqué des ferro-manganèses à 30 p. 100 de manganèse, ils étaient parvenus, par étapes successives, il y aura bientôt deux ans, à l'obtention de ferro-manganèse contenant 70 à 75 p. 100 de manganèse. Depuis un certain temps ils ont réussi à fabriquer industriellement des produits contenant jusqu'à 85 p. 100 de ce métal et qui mériteraient plutôt le nom de *fonte de manganèse* que celui de ferro-manganèse, puisque leur teneur en fer n'est plus que de 8 1/2 p. 100.

L'échantillon qui en est soumis à la Société a, du reste, un aspect différent de celui des fontes de fer ou spiegeleisen : il est grenu et d'un gris plus analogue à la couleur de l'acier qu'à celle de la fonte blanche ou grise.

Voici l'analyse de ce produit rapprochée de celles de quelques autres produits de la même usine :

Désignation	FONTE lamelleuse.	SPIEGELEISEN.		FERRO-MANGANÈSE.		FONTE grise aciéreuse.
		A.	B.	A.	B.	
Fer.....	90,070	(83,958)	(75,562)	(54,436)	8,550	(89,029)
Manganèse...	4,640	10,930	18,500	39,900	84,960	3,310
Carbone total.	3,627	4,410	5,750	5,450	5,700	4,900
Silicium.....	1,325	0,690	0,168	0,186	0,660	2,740
Soufre.....	0,048	0,010	0,005	0,008	0,035	0,006
Phosphore...	traces.	0,002	0,015	0,020	0,005	0,015

N. B. — Les chiffres entre parenthèses sont établis par différence.

La réduction des oxydes de manganèse est difficile, et exige des températures très-élevées avec une consommation de combustible considérable. Aussi le même haut fourneau qui produit quotidiennement 50 à 60 tonnes en allure de fonte grise aciéreuse, ne produit plus que 20 à 24 tonnes lorsqu'on veut obtenir des alliages très-riches en manganèse.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Jordan de son intéressante communication.

Digitized by Google

M. Regnard présente un spécimen de la machine à tricoter de famille, fabriquée par la Cie Bickford (de Brattleboro, États-Unis), au sujet de laquelle il fait la communication suivante :

Parmi les innombrables outils que contenait l'Exposition de Philadelphie, la petite machine que je me propose de vous décrire m'a paru mériter une mention spéciale. On peut dire qu'elle est pour le tricot ce qu'est la machine à coudre pour les travaux d'aiguille. Elle permet de faire, non-seulement un tube tricoté, mais aussi des bandes de telle ou telle largeur, en ouvrage plat, et par suite de fabriquer absolument tout objet en tricot.

On peut également, avec la plus grande facilité, varier le point en faisant travailler à volonté une partie seulement des aiguilles, opérer des rétrécissements comme cela se pratique dans le travail à la main; en un mot faire avec une rapidité merveilleuse tout ce qu'une femme réalise à force de patience par un travail facile à la vérité, mais très-long.

Les métiers à tricoter sont connus depuis longtemps; il en existe de différentes sortes et je n'ai ni l'intention de les comparer à la tricoteuse de famille, ni la compétence nécessaire pour le faire aussi complétement que la question le mériterait. Qu'il me suffise de dire que la petite machine que je mets sous vos yeux n'a pas la prétention de se substituer aux machines aujourd'hui employées dans toutes les fabriques de bonneterie, mais seulement de remplacer le travail à la main, soit en donnant aux personnes qui tricotent pour leur agrément le plaisir de produire plus et d'utiliser leur temps d'une manière pour le moins aussi intéressante qu'avec les quatre petites tiges d'acier vulgaires, soit en fournissant aux ouvrières qui travaillent à façon le moyen de gagner davantage en produisant un résultat identique de tous points à celui que fournit le tricot à la main.

Au contraire des étoffes tissées, composées de deux sortes de fils, qu'on distingue sous les noms de chaîne et de trame, on peut définir le tricot un tissu formé d'un seul fil, ce fil unique étant replié en boucles qui s'agrafent les unes dans les autres en formant une succession de mailles dont chaque file représente ce qu'on nomme quelquefois un point de chaînette.

Ce résultat est atteint dans le petit engin qui nous occupe, par une série d'aiguilles ou de crochets avec pattes à charnière, animés d'un simple mouvement rectiligne alternatif. La petite pièce à charnière ou doigt mobile vient s'appliquer contre le crochet de la tête de l'aiguille et le fermer pendant sa descente à travers chaque maille.

Ces aiguilles sont logées dans les cannelures ou rainures verticales d'un cylindre en fonte, et assujetties par un collier ouvrant, de manière à ne pouvoir prendre, une fois posées, qu'un mouvement vertical ascendant ou descendant. Enfin, ce mouvement est donné à toutes les aiguilles par une rainure en forme de V, portée par un cylindre moteur qui enveloppe le premier, et est mis en action au moyen d'une manivelle par l'intermédiaire de deux engrenages d'angle. Cette rainure vient saisir successivement les aiguilles par leur partie inférieure, recourbée à angle droit, et les force à descendre, puis à remonter.

Digitized by Google

Tels sont les organes principaux, simples, robustes, faciles à démonter sans le secours d'aucun outil, qui constituent essentiellement la tricoteuse dont nous nous occupons.

Le fonctionnement en est facile à comprendre. Chaque petite aiguille est primitivement entourée d'un fil, enroulé à la main et accroché de place en place à une nasse en fil de fer chargée de poids et ayant pour fonction de tirer l'ouvrage à mesure qu'il se fabrique. Puis on fait tourner la manivelle en présentant un fil devant les aiguilles; celles-ci en descendant prennent le fil dans leur crochet qui se ferme de lui-même par le relèvement du petit doigt formant pied-de-biche, entraînent une boucle de fil dans celle primitivement créée, et forment une nouvelle maille; lorsque l'aiguille remonte, le doigt s'abaisse, et la petite cuiller qui le termine monte assez haut pour s'échapper de la maille créée; la même chose se répète sur chaque aiguille à chaque tour, de sorte qu'en faisant seulement 50 tours par minute, avec un cylindre monté de 100 aiguilles, on fait 5,000 mailles. Si on emploie le cylindre de 144 aiguilles, et qu'on fasse faire 100 révolutions par minute au cylindre moteur, on arrive à faire 14,400 mailles par minute, et on produit un tube de tricot, plus ou moins serré, dans lequel on peut découper et coudre toutes sortes d'objets. Si l'on veut faire, sans coutures, ou avec une couture ou un remmaillage unique, tel ou tel objet déterminé, comme un bas, par exemple, la machine permet d'exécuter ce travail directement, de faire le talon, les diminutions de la jambe, celles de la pointe, les ourlets, les côtes, les jours, etc., par des moyens excessivement simples.

Pour faire, par exemple, un travail plat, une bande de largeur uniforme ou variable, on ne monte qu'une partie des aiguilles, et on donne à la manivelle un mouvement alternatif. Deux petites chevilles, qu'on place dans des trous du bâti à volonté, servent à limiter dans ce cas la course, sans qu'on ait à s'en préoccuper, et en même temps font rétrograder le guide-fil de façon à ce que le fil se présente toujours devant chaque aiguille avant qu'elle soit saisie par la rainure qui lui imprime le mouvement. Pour faire des côtes, il suffit d'enlever des aiguilles, en laissant leur logement vide. Pour rétrécir on enlève des aiguilles, mais en rapprochant les voisines pour combler les vides, et en jetant la maille de chaque aiguille enlevée sur celle qui l'avoisine.

Pour former des dessins dans le tricot, on soulève des aiguilles pendant un certain nombre de tours, en les mettant ainsi hors de la portée de la rainure motrice; on arrive ainsi à produire des effets variables à l'infini, selon le goût ou l'imagination de l'opérateur. Une femme exercée arrrive, paraît-il, à produire jusqu'à 20 paires de bas par jour.

Une série de menus détails dans la construction sont encore à noter, aussi remarquables au point de vue cinématique qu'à celui de la simplicité et de la solidité des organes.

Ainsi, la variation de longueur de la maille est obtenue en déplaçant une partie de la cannelure en forme de V que fixe une vis de pression. La

Digitized by Google

tension est obtenue par des poids suspendus à la nasse en fil de fer sur laquelle on agrafe le fil en montant l'ouvrage, c'est-à-dire en créant à la main la première maille, avec un petit outil spécial.

La réparation d'un accident quelconque survenu au cours du travail, par suite d'une maladresse, est des plus faciles ; une longue aiguille, munie du même petit doigt à charnière que celles du métier, permet de ramasser les mailles tombées ou échappées. Enfin, on peut faire sur cette petite machine des ourlets, des franges, de l'astrakan, des passementeries, varier les couleurs, et même, avec un peu de soin, broder des dessins en couleur dans le corps du tricot.

M. Regnard fait fonctionner une de ces machines, et présente une collection d'objets de toutes sortes tricotés par ce moyen, ainsi que les pièces d'une machine semblable, démontée.

M. Molinos demande si ce petit métier de bonneterie fait aussi les talons des bas, ce qui est généralement la partie la plus difficile de cette fabrication.

Un Membre désire savoir quel est le prix de ce métier?

M. Regnard répond que les talons se font avec la même facilité que le reste du bas; la diminution de largeur du tube et la variété de sa configuration s'obtiennent en soulevant, pour les mettre au point mort, certaines aiguilles, ou en enlevant un certain nombre d'aiguilles, et en rapprochant les autres. Quant au prix de la machine, il varie de 30 à 60 dollars, suivant le nombre des cylindres de rechange, et munis de fontures différentes de 72 à 144 aiguilles, qui sont fournies avec la machine; c'est comme on le voit une dépense abordable aux petites bourses, et qui sera d'ailleurs rapidement couverte par les bénéfices tirés de l'emploi de ce métier.

M. Édouard Simon demande à présenter quelques observations.

La communication intéressante de M. Regnard prouve une fois de plus l'esprit pratique des américains, mais il ne faudrait pas laisser supposer que notre Société reconnaisse dans l'appareil décrit, autre chose que la réduction ingénieuse du métier circulaire connu.

L'aiguille *Self-acting*, dont M. Regnard a représenté la structure sur le tableau, est employée depuis longtemps dans les métiers à bonneterie rectilignes et circulaires. La rainure en forme de V, pour l'élévation et l'abaissement des mêmes aiguilles, existe dans les fontures droites ou courbes.

Il ne semblera peut-être pas superflu d'ajouter que, lors de l'Exposition universelle de 1867, la section française renfermait un petit métier à bonneterie, *Tricoteur omnibus*, construit par M. Buxtorf, de Troyes. Ce tricoteur de forme rectiligne, se plie à toutes les exigences du tricot à la main; il est en usage dans un certain nombre de pensions, de couvents, etc.

M. Simon sans discuter le mérite de l'appareil, a cru utile de rappeler les résultats obtenus depuis longtemps déjà dans notre pays, en vue de vulgariser le métier de bonneterie et d'en faire un appareil domestique.

M. Regnard loin de contester les observations de M Simon, reconnaît

Digitized by Google

parfaitement que le principe du fonctionnement du métier qu'il a décrit, ainsi que les aiguilles *Self-acting* qui en sont les organes essentiels, ne sont pas nouveaux, et se retrouvent dans les machines à tricot de plusieurs systèmes, remontant à plus de dix ans, et notamment dans le métier rectiligne de Lamb. Mais la combinaison mécanique suivant laquelle les mêmes principes sont réalisés dans le métier américain, présente peut-être dans certains détails un caractère d'originalité pratique, qui lui a paru digne d'être signalé à la Société.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Regnard de son intéressante communication, et trouve qu'en effet il est désirable que la Société soit mise au courant des progrès accomplis dans l'industrie mécanique pour mettre à la portée de tout le monde des outils qui diminuent la main-d'œuvre.

M. SEYRIG a la parole pour sa communication sur le pont du Douro, qui vient d'être achevé par MM. G. Eiffel et Cie.

M. SEYRIG rappelle que depuis la construction des premiers ponts métalliques, une tendance générale s'est manifestée à faire des ouvertures de plus en plus grandes. On s'est graduellement élevé de 40 mètres à 100, 130 et 150 mètres. C'est entre 150 et 160 mètres de portée que paraît se trouver aujourd'hui la limite pratique et économique.

Il en est de même au point de vue de la hauteur. L'emploi du fer dans les piles a permis d'atteindre des hauteurs de 60 mètres. On n'a guère dépassé ce chiffre que dans un ou deux cas exceptionnels.

Le pont du Douro a nécessité à la fois l'emploi d'une travée ayant la plus grande ouverture connue, et de piles d'une hauteur considérable; le niveau du rail se trouvant à 61^m^,28 au-dessus du zéro hydrographique de la rivière.

Ces conditions étaient commandées par le tracé du chemin de fer. Il arrive en face de la ville de Porto, au haut d'un plateau dans lequel le Douro s'est creusé un lit profondément encaissé. Longtemps on avait cherché à franchir la rivière par une boucle, conduisant à un pont situé au fond de la vallée, mais la longueur de cette déviation, qui atteignait jusqu'à 12 kilomètres, avait fait reculer devant la dépense, lorsqu'il devint certain que l'on pouvait franchir avec sécurité la rivière en une seule travée de 150 à 160 mètres; le projet fut mis au concours, et le 1er mai 1875 quatre constructeurs présentèrent leurs offres.

M. SEYRIG aborde la description et la discussion des projets qui ont servi de base à ces offres. Deux des projets supposaient que la rivière serait franchie au moyen de fermes en forme d'arc. Le premier, dont la ferme était en plein cintre, exigeait un remplissage complet des tympans, réunissant l'arc aux longerons. Le second avait un arc de forme particulière, en croissant, sans aucun tympan. La poutre droite du tablier proprement dit était simplement posée sur des supports s'appuyant sur l'arc. Les deux autres étaient constitués par des poutres droites ou paraboliques. Les auteurs de ces derniers avaient chacun présenté une double proposition, l'une supposait une pile fondée en rivière et descendue de 22 à 26 mètres

Digitized by Google

sous l'étiage; l'autre supposait, ou une travée unique de 170 mètres de portée, ou deux travées dont le point de support commun était formé au milieu de l'ouverture par des contre-fiches inclinées. Pour chacun de ces concurrents la pile en rivière constituait une solution plus coûteuse que la grande ouverture.

Parmi ces projets, le plus coûteux était celui dont l'arc exigeait un remplissage complet des tympans. Venait ensuite le pont à poutre parabolique de 170 mètres de portée. Le troisième rang était tenu par la poutre droite ayant des travées de 78 mètres, soutenue en son milieu par des contre-fiches. Le moins coûteux de tous était le projet avec arc sans tympans, rigide par lui-même, et prolongé sur les berges par des travées de petite dimension.

Les prix de ces différents projets, rapportés au mètre carré d'élévation, étaient les suivants :

Projet avec arc muni de tympans.	169 fr.	le mètre carré.
Projet avec poutre semi-parabolique. . . .	110	—
Projet avec poutres continues et contre-fiches	85f,50	—
Projet avec arc en forme de croissant. . . .	59f,20	—

On peut se rendre compte de la valeur de ces chiffres en la comparant aux prix des viaducs principaux, souvent cités de la ligne de Commentry à Gannat. Le viaduc de la Bouble, avec des travées maxima de 50 mètres, et une hauteur de rail de 66 mètres, a coûté 61f,50 par mètre carré. La Sioule, avec une travée maxima de 56m,40 et une hauteur de 58m,80, a coûté 66f,80 le mètre carré.

Il convient de remarquer que ces deux viaducs sont les moins coûteux construits jusqu'à présent.

M. Seyrig décrit encore deux autres projets qui avaient été rédigés en vue de passer la rivière en ce même endroit. Ils proposent, pour franchir l'ouverture principale, l'emploi d'un arc surbaissé au dixième, et placé au sommet des piles métalliques. Ces projets n'admettent une description qu'à l'aide de dessins.

Le projet, aujourd'hui complétement exécuté, est celui d'un arc sans tympans, supportant un tablier droit supérieur indépendant de lui, et dont l'avantage économique ressort des chiffres ci-dessus. Ce projet, dont la hardiesse et la forme insolite excitèrent quelques défiances chez les administrateurs de la Compagnie du chemin de fer, fut soumis à l'examen d'une Commission composée de MM. Krantz, de Dion et Molinos. Il servit ainsi à la première application pratique de la nouvelle méthode de calcul que M. de Dion venait d'exposer devant la Société des Ingénieurs civils. Le résultat de l'examen fut éminemment favorable, et le rapport décida de l'adoption, par la Compagnie, du système proposé par MM. G. Eiffel et Cie.

Abordant ensuite la description détaillée de l'ouvrage, M. Seyrig rappelle la configuration de la vallée du Douro, qui est en ce point une immense faille dont la profondeur est inconnue. Le fleuve, d'une profondeur

Digitized by Google

de 6 à 16 mètres, roule sur un lit de sable, dont les sondages n'ont pu déterminer l'épaisseur. On a été jusqu'à 40 mètres sous le zéro hydrographique sans rencontrer le rocher. Le régime des eaux est très-variable, des crues de 10 à 12 mètres se produisant parfois dans des espaces de temps très-courts, le courant étant alors naturellement d'une violence extrême, l'embouchure du fleuve se trouvant à 4 ou 5 kilomètres seulement.

A l'endroit où se trouve le pont la rivière a, de côté et d'autres, deux petits promontoires, formés par des saillies de roches, sur lesquelles ont été assises les culées de l'arche principale. Sur la rive droite la berge s'élève rapidement, étant dominée par une haute colline escarpée. C'est sur ces rochers qu'est accrochée, à 80 mètres en arrière, la culée proprement dite. Sur la rive gauche, ou côté Lisbonne, le terrain s'élève en pente plus douce; la culée est à une distance de 110 mètres environ de la pile culée, et derrière elle se trouve encore un remblai d'une centaine de mètres. La distance entre les deux culées extrêmes est de 352^{m},875.

Du côté Lisbonne se trouvent trois travées égales de 37^{m},375 chacune. Du côté Porto les travées ayant cette même ouverture sont au nombre de deux. Entre les axes des panneaux pleins terminant ces poutres, il reste une distance de 167^{m},50, qui est celle des piles culées du grand arc, mesurée d'axe en axe. Les travées supportées par l'arc sont au nombre de deux de chaque côté, ayant 28^{m},750 chacune. Au milieu de l'arche enfin se trouvent cinq travées de 10^{m},40 chacune, qui complètent l'ensemble du tablier. Cette disposition donne donc cinq travées continues du côté Lisbonne, quatre du côté Porto, et cinq à la clef de l'arc.

Les poutres ainsi composées reposent, en outre des culées, sur des piles métalliques et sur les pièces transversales reliant les fermes de la grande ouverture.

Les tabliers droits des deux côtés sont formés de poutres ayant 3^{m},50 de hauteur et 3^{m},10 d'écartement. Elles sont à treillis, à deux séries de barres et à montants verticaux. Leurs semelles supérieures sont disposées de manière à former garde-roues dans le cas d'un déraillement, et le plancher du pont est formé d'un platelage en fer Zorès, sur lequel sont fixés les rails au moyen de blochets en bois.

Toutes les piles sont en fer, la fonte ayant été exclue de leur construction. Elles sont à quatre arbalétriers, de section rectangulaire, en tôle et cornières. Ces arbalétriers sont reliés par des entretoisements horizontaux qui les divisent en étages de 3^{m},50 de hauteur. Sur les faces longitudinales des piles, chacun de ces étages contient une croix de Saint-André formant contre-ventement. Sur les grandes faces transversales, ces croix occupent une hauteur de 7 mètres, ou deux étages. Des croix horizontales complètent le contre-ventement des piles, qui sont ainsi armées dans tous les sens pour résister aux déformations qui peuvent se produire.

La dimension des piles, mesurée d'axe en axe des arbalétriers au som-

Digitized by Google

met, est de 3m,10 en travers du pont, et de 1m,35 en long. Le fruit des faces est de 93 millimètres par mètre en travers, et de 40 millimètres en long.

Les piles qui sont portées par l'arc ont les mêmes dimensions que les autres. Elles sont assujetties à l'arc par de fortes équerres en tôle.

Les massifs de fondation des piles sont rectangulaires. Elles sont construites en entier en granit, les angles étant en pierre de taille, le remplissage en moellons piqués à la surface, de fortes dimensions. Chaque massif est évidé en son milieu, et c'est dans ce vide que débouchent les logements contenant le clavetage des arbalétriers, lequel est relié aux plaques d'appui par des tiges en fer de 90 millimètres de diamètre.

Les massifs des deux piles-culées sont analogues aux autres dans leur partie principale. Mais, devant recevoir les appuis des retombées du grand arc, lesquels sont espacés de 15 mètres d'axe en axe, ils ont dû être élargis. Deux éperons se trouvent donc placés de côté et d'autre de la pile, et sont intimement reliés à celle-ci par leur appareil. Leur axe est à peu près dans le prolongement de la fibre neutre des fermes et leur appareil est normal à cette direction, en sorte que la poussée se transmet au sol dans les meilleures conditions.

Les culées ont été construites sur les petits promontoires dont il a été question plus haut. Du côté Porto seulement il a fallu fonder l'un des angles dans l'eau, et cette fondation peu profonde a été facilement faite au moyen d'un batardeau.

La partie la plus importante de l'ouvrage est la grande arche qui franchit la rivière et qui a, d'axe en axe des appuis, une ouverture de 160 mètres.

M. Seyrig rappelle les considérations d'où sont nées la forme et la disposition donnée à cet arc. L'on sait que, dans un pont, la disposition réalisant la plus grande économie possible est celle qui permet de petites travées. Une règle qui n'a rien d'absolu, mais qui, dans la plupart des cas, se rapproche beaucoup de la vérité, veut que des supports ayant pour hauteur la portée des travées correspondent à la disposition la plus économique. Appliquée à la grande travée, cette règle perdait toute opportunité en raison de la grande profondeur de la rivière et des fondations pneumatiques qu'il eût fallu faire. Sur les rives, au contraire, elle indiquait des travées de 35 à 40 mètres comme les plus avantageuses. Mais il fallait, pour bien utiliser ces dispositions, leur trouver quelque analogie dans la disposition de la grande travée. On était ainsi naturellement conduit à l'emploi des contre-fiches obliques, qui auraient pris leurs points d'appui au pied des piles. On pouvait diviser, soit en deux, soit en trois parties l'ouverture centrale, et on obtenait des travées de 50 mètres, encore trop grandes comparativement aux travées voisines.

De là à l'emploi d'un arc, servant de point d'appui à des supports plus nombreux il n'y avait plus qu'un pas, et cette nouvelle disposition entraînait avec elle un certain nombre d'avantages spéciaux que voici :

1° Elle permettait de diviser en autant de parties qu'on le voudrait, le tablier supérieur;

Digitized by Google

2° Elle réduisait en même temps à son minimum la hauteur des palées ou supports portant le tablier, ceux placés dans le voisinage de la clef n'existant pour ainsi dire plus;

3° Elle donnait à l'ouvrage une forme éminemment propre à résister à tous les efforts latéraux du vent, le transmettant directement au sol sans passer par les piles;

4° Elle présentait une certaine élégance dont trop souvent les ouvrages de cette nature sont totalement dépourvus.

La forme à donner à l'arc dépendait d'ailleurs d'un certain nombre de conditions. L'absence des tympans, c'est-à-dire de pièces obliques et verticales reliant l'arc à un longeron supérieur, exigeait que la ferme fut de nature à résister par elle-même aux flexions qui se produisent par suite de la distribution variable des surcharges. Ces flexions, dont l'action est indépendante des efforts de compression longitudinaux, atteignent une intensité considérable, surtout dans la partie comprise entre les points d'appui des piles placées aux reins. C'est donc dans cette partie que la hauteur de l'arc devait être la plus grande, afin de pouvoir résister tout en n'augmentant que dans de faibles proportions la quantité de métal exigée par la compression. C'est cette considération qui a conduit à l'emploi d'une forme en croissant, qui trouve là sa première application comme véritable arc, exerçant une poussée sur ses appuis. Elle avait déjà été employée comme poutre simplement posée, notamment dans des combles de gares; elle n'a pas, à notre connaissance, servi jusqu'à présent à la constitution d'un arc proprement dit.

Cette forme n'est pas le résultat d'un tracé géométrique. Un premier essai avait admis la forme parabolique, mais le calcul montre qu'il y avait avantage à conserver, jusque dans le voisinage des piles, le plus de hauteur possible pour la forme. Dès lors, il convenait de rectifier par un tracé à la main les courbes d'intrados et d'extrados, de manière à répondre à la fois aux besoins de la résistance et au sentiment de l'élégance de la forme.

Ce genre d'arc se prête d'ailleurs mieux que tout autre à l'emploi d'un point d'appui unique aux naissances sous forme de rotule. On sait les avantages d'une semblable disposition. Ils résident dans l'assurance que les variations de surcharge et de température ne feront pas varier la position du centre de pression et dans l'arc et dans les culées. Au point de vue des appuis surtout cet avantage est considérable, un déplacement de la pression dans les divers points d'une plaque d'appui pouvant être funeste pour les maçonneries. Enfin, un avantage qui n'est pas à dédaigner, c'est la facilité avec laquelle se font les calculs, quand on n'a pas à tenir compte de l'encastrement aux naissances.

Les grandes dimensions de la ferme indiquaient d'avance quel devait être le mode de construction à adopter. Le treillis à grande maille pouvait seul être satisfaisant, comme offrant le moins de prise au vent et comme assurant un degré d'exactitude plus grand dans la détermination des efforts que subit chaque élément de la construction. Il permet aussi de mieux appro-

Digitized by Google

prier chaque pièce à la nature des efforts qu'elle transmet sans emploi d'aucun excédant de matière.

La ferme construite d'après ces principes a donc les dimensions suivantes:

Sa portée, mesurée d'axe en axe des retombées, est de 160 mètres. Sa flèche d'intrados, mesurée sur la verticale, est de 37m,50, et la hauteur de l'arc à la flèche est de 10 mètres. Cette hauteur diminue peu jusqu'aux points d'attache des piles, où elle est encore de 7 mètres. L'arc est divisé en 21 panneaux de grandeur variable, et qui sont marqués par les montants verticaux. Chacun de ces panneaux est occupé par une croix de Saint-André, celui des retombées seul est formé de tôles pleines, convenablement armé de cornières.

Les membrures supérieures de l'arc sont disposées en forme de caisson. Trois des parois sont pleines, la quatrième, tournée vers l'intérieur de l'arc, est formée par un petit treillis en cornières. Les montants des arcs sont en forme de double T, constitués par quatre cornières, réunis par un petit treillis. Les croix de Saint-André ont la même section, celles du milieu de l'arc ayant leur âme remplacée par un treillis, celles situées entre les rotules et la pile ont une âme pleine. Toutes ces pièces ont des sections qui les rendent propres à résister dans d'excellentes conditions à la compression.

L'arc se termine par une rotule formée d'une fourchette en fer qui porte à son sommet le cylindre d'appui. Les branches de la fourchette sont saisies de côté et d'autre par les semelles des membrures, qui s'infléchissent à leur extrémité de manière à comprendre entre elles lesdites branches. Celles des semelles qui entrent dans la fourchette sont ajustées dans le fond de manière à assurer le contact. Celles placées à l'extérieur sont attachées par les rivets disposés sur cinq rangées. Le cylindre ou axe terminal repose dans un coussinet en fer forgé, claveté lui-même entre les joues d'un grand sabot en fonte, qui transmet, en la répartissant, la pression à la maçonnerie. L'inclinaison de la face du sabot est de 45° sur l'horizontale. La direction de la pression peut varier, par l'effet des surcharges, entre 42° 30′ et 50° 26′. L'écart maximum entre la normale à l'appui et la direction de l'effort est de 5° 26′, angle de beaucoup inférieur à l'angle de frottement. On aurait donc à la rigueur pu se dispenser même des clavettes qui maintiennent en place le coussinet.

Quoique le calcul montre que jamais il n'y a tendance au soulèvement de l'arc sur son appui, on a assujetti encore la fourchette dans son logement par une tige qui la traverse, dont la tête se trouve entre les deux branches et dont l'autre extrémité est ancrée dans la maçonnerie à une profondeur de 8 mètres.

Les deux fermes ainsi constituées ne sont pas, comme dans les ponts en arc exécutés jusqu'à ce jour, placées dans des plans verticaux. Leurs plans convergent vers le haut, en sorte qu'au niveau de la voie la distance d'axe en axe des membrures est de 3m,95, tandis qu'aux retombées l'écartement est de 15 mètres. Cette disposition, qui augmente notablement les dif-

Digitized by Google

ficultés de la construction et du montage, a été adoptée pour résister avec plus de sécurité aux efforts latéraux du vent. Elle donne à l'ensemble du pont une très-grande stabilité et fait que jamais les maçonneries ne subiront aux retombées aucun effort de soulèvement.

L'entre-toisement des arcs entre eux se fait par des éléments analogues à ceux habituellement employés dans des ponts droits. Des contre-ventements verticaux et d'autres dans le plan des membrures assurent une liaison rigide des arcs entre eux. Toutes les pièces qui le composent sont susceptibles de travailler à la compression sans se déformer.

M. Seyrig aborde ensuite la description du montage de l'arche centrale, rendue exceptionnellement difficile par l'impossibilité d'employer aucun échafaudage en rivière. Il a dû se faire tout entier en partant des culées et s'avançant des deux côtés, en porte à faux, jusqu'à la jonction de la clef des deux moitiés d'arc. La première difficulté consistait dans le levage jusqu'à leur position définitive des différentes pièces de l'arc. On installa à cet effet un câble supérieur formé de deux brins juxtaposés. Il reposait sur des chevalets en bois superposés au tablier déjà en place, dans l'axe des piles métalliques voisines de l'arche. Ces câbles confectionnés en fil d'acier servirent au roulement des deux petits chariots portant des poulies sur lesquelles passaient les câbles de levage. Ces câbles étaient manœuvrés à distance par des treuils placés sur les tabliers. D'autres treuils assuraient la position des chariots porteurs. De cette façon, on amarrait chaque pièce, amenée par bateau, et on la levait en place par la manœuvre des treuils placés sur la pile voisine.

Mais ce système présenta des inconvénients, en raison de la grande largeur de la construction. On trouva très-difficile d'emmancher les pièces de tôlerie dans les joints, quand il fallait dévier de la verticale le câble qui les suspendait. On eut recours, pour éviter cet inconvénient, à des bigues en charpente, placées sur la partie de l'arc déjà montée et formant chèvre. Ces appareils permirent de manœuvrer avec plus de facilité les diverses pièces de la construction. Elles étaient elles-mêmes remontées de panneau en panneau par les chariots roulant sur le câble supérieur. Par l'emploi de ces deux moyens, le montage de l'arc progressa à peu près également des deux côtés jusqu'à sa fermeture à la clef.

La question la plus difficile consistait cependant dans le maintien en position des portions d'arc déjà montées pendant le levage du reste. On se servit, à cet effet, de câbles de retenue, qui suspendirent l'arc au sommet de la pile voisine, prenant, suivant l'importance variable du porte à faux, des positions successives. Ces câbles étaient en acier, formés chacun de 6 torons de 19 fils de $2^{mm},7$ de diamètre. Ils ont été essayés jusqu'à la rupture, qui ne s'est produite qu'à un coefficient de travail de 105 kilogrammes par millimètre carré. Ils passaient autour de sabots demi-circulaires, placés sous les membrures supérieures de l'arc, et leurs extrémités allaient se fixer sur des sommiers établis sur les panneaux pleins du tablier supérieur. L'ordre des opérations fut le suivant.

Digitized by Google

Un petit échafaudage de 7 mètres de largeur environ fut établi en avant de chaque culée. Il servit à mettre en place les panneaux pleins terminant l'arc. Ce panneau placé, on en assujettit l'extrémité par une première paire de câbles, afin de ne pas surcharger l'échafaudage, et on monta le second panneau. A l'extrémité de celui-ci, on établit la seconde paire de câbles, ce qui permit de continuer le montage et de mettre en place deux nouveaux panneaux. Le porte à faux ainsi obtenu soulagea les câbles placés en premier lieu et permit de les dégager tout à fait, pour les reporter à l'extrémité du quatrième panneau, qui correspondait au premier arbalétrier de la pile. Continuant le montage, on put bientôt dégager les câbles placés en second lieu et les reporter à l'extrémité du cinquième panneau. Les câbles furent doublés à ce moment et permirent, dans leur position définitive, d'avancer l'arc jusqu'à la clef, où la jonction se fit par l'intrados d'abord, par l'extrados en dernier lieu.

L'ensemble des câbles se trouvait tendu, au moment du plus grand porte à faux, par un effort de 200 tonnes. Cet effort comprimait les piles métalliques, mais donnait en même temps un effort de traction sur les tabliers horizontaux. Ceux-ci étaient amarrés soit au rocher, du côté Porto, soit à la culée, du côté Lisbonne, de manière à n'avoir à craindre aucun mouvement pendant toute l'opération.

Lors de la rencontre à la clef, on put constater que le travail à l'atelier ainsi que les montages avaient été faits avec assez de soin pour que, entre les deux portions d'arc, il n'existât, dans le sens horizontal, qu'une déviation d'un centimètre environ, qui disparut sous l'effet des broches de montage.

Dans le sens vertical, une plus grande différence avait été réservée. L'élasticité des câbles, la flexion de l'arc pendant le montage en porte à faux, les variations de température et d'autres motifs encore faisaient désirer que, à la rencontre des pièces, on eût devant soi une certaine marge, et que la jonction définitive fût assurée par l'abaissement l'un vers l'autre des deux portions qui se présentaient. L'amarrage du câble était disposé de telle façon qu'on pût le descendre peu à peu et assurer ainsi l'assemblage du dernier point. Cette opération se fit lentement, mais facilement et avec assez de régularité. On abaissa ainsi l'extrémité de l'arc de 350 millimètres environ. Lorsque le joint fut fait, on soulagea rapidement tous les câbles afin d'éviter qu'une perturbation subite dans la température ne produisit des efforts imprévus dans les câbles. A cet effet, le tablier avait été posé sur la pile avec interposition de boites à sable. En les vidant, on assura en quelques minutes l'effet voulu de la détente partielle des câbles.

Les essais de l'arc furent faits environ cinq semaines après l'achèvement. Le résumé de ces essais est le suivant :

L'arc entièrement surchargé donna à la clef un abaissement de 10 millimètres. L'abaissement calculé avait été de $9^{mm},2$.

L'arc à moitié chargé donna à la clef un abaissement moyen de $12^{mm},1$. Le calcul indiqué 9 millimètres. L'abaissement aux reins, du côté chargé, fut de

Digitized by Google

22mm,5, le calcul en ayant indiqué 21. Le relèvement du côté non chargé fut de 18 millimètres, le chiffre identique indiqué par le calcul.

L'arc chargé symétriquement de 40 mètres à gauche et à droite de la clef donna à la clef un abaissement de 19mm,3; le calcul avait indiqué 17 millimètres. Aux reins, le calcul avait indiqué un relèvement de 4mm,5, ce relèvement fut de 5mm,7.

Ces résultats confirment donc une fois de plus que les méthodes de calcul basées sur les principes généraux de la résistance des matériaux sont dignes de toute confiance. Ils permettent de dire qu'en tous les points de la structure les efforts produits ont bien été ceux que le calcul a déterminés. Ils ont été partout proportionnés, l'ouvrage étant revenu, après chaque épreuve, exactement à son état normal, montrant ainsi une parfaite élasticité.

Ces expériences sont incomplètes. Elles seront complétées par des observations sur la température et les effets du vent, qui, nous n'en doutons pas, confirmeront encore davantage la confiance que l'on peut avoir dans le système et dans les méthodes qui ont servi à le déterminer.

M. Charton dit que la presse française et étrangère a déjà parlé avec beaucoup d'éloges de l'ouvrage d'art remarquable, dont M. Seyrig vient de nous donner une description si complète et si intéressante. Cette œuvre colossale fait le plus grand honneur à notre industrie et à la profession de l'Ingénieur. Il demande en conséquence que la communication de M. Seyrig soit insérée *in extenso* dans les Comptes rendus de la Société.

M. le Président répond que les applaudissements de l'assemblée ont montré qu'elle partageait à l'unanimité l'opinion qui vient d'être émise. Il remercie M. Seyrig d'avoir présenté à la Société la description de cet ouvrage, et il espère que M. Eiffel à son retour du Portugal voudra bien compléter la communication qui vient d'être faite sur cet ouvrage en y ajoutant des détails sur tout ce qui est relatif au montage et aux épreuves. Cette communication sera faite à une prochaine séance et donnera lieu, nous l'espérons tous, à un mémoire d'ensemble qui sera inséré dans notre Bulletin.

M. Niaudet a la parole pour sa communication sur les *téléphones*.

L'année dernière, à l'Exposition de Philadelphie, on présenta plusieurs appareils nouveaux se rattachant à la télégraphie.

Parmi ces appareils, le plus extraordinaire était le téléphone imaginé par M. Bell, transmettant la voix humaine.

Des expériences furent faites dans lesquelles plusieurs personnes entendirent des mots prononcés par d'autres personnes dans une ville voisine.

Parmi les auditeurs de ces sons venus de si loin, de ces paroles voyageuses, se trouvait l'un des hommes les plus illustres de la science européenne, Sir William Thomson, qui se trouvait à Philadelphie comme membre du Jury international.

Sir William Thomson, quelque temps après, en septembre 1876, rendait

Digitized by Google

compte de ces expériences à l'Association britannique réunie à Glasgow, et précisait même les mots qu'il avait ainsi entendus.

Cette nouvelle se répandit promptement en Europe, et on se rappelle encore que l'illustre physicien avait dit que cet instrument était la *merveille des merveilles* de la télégraphie.

Il était difficile de douter, et cependant quelques personnes doutèrent encore; et parmi celles qui ne doutèrent plus, beaucoup pensèrent que le téléphone était et resterait un objet de pure curiosité, un instrument de science, un objet bon à meubler les armoires des cabinets de physique.

Tout au plus pouvait-on admettre que cet appareil télégraphique, avant d'arriver à l'état pratique, aurait à passer par de nombreux et lents progrès.

Cette année, à la réunion tenue au mois d'août à Plymouth par l'Association britannique, on apprit que ces progrès nombreux avaient été réalisés et que loin d'avoir été lents, ils avaient été d'une rapidité tout à fait extraordinaire.

L'instrument très-imparfait de 1876, était devenu, en 1877, presque parfait; sa simplicité était devenue telle qu'il ne paraît pas possible de la dépasser.

En 1876, les deux instruments, transmetteur et récepteur, étaient disemblables, et dans les expériences faites à Philadelphie, on n'avait pu que parler d'un côté et entendre de l'autre.

En 1877 les deux appareils étaient devenus identiques, et par conséquent on pouvait parler et entendre avec tous deux.

Une circonstance fortuite m'a conduit à Londres le mois dernier. Je fus mis en rapport avec l'inventeur. Je lui proposai de faire connaître son invention en France. Il me confia les deux premiers téléphones qui aient touché le continent européen, et que voici.

Je ne vous parlerai pas en détail de toutes les formes par lequelles a passé l'invention de M. Graham Bell; d'autant que je ne les connais pas toutes et que l'intérêt de cette chaîne d'idées serait beaucoup diminué par une certaine discontinuité. Je me hâterai donc de vous donner la description de l'appareil.

Description de l'instrument. — La figure ci-contre vous montre ses différentes parties.

Une membrane de fer fort mince est placée devant l'entonnoir ou embouchure de l'appareil;

Derrière cette membrane une tige d'acier aimantée, placée perpendiculairement à la membrane;

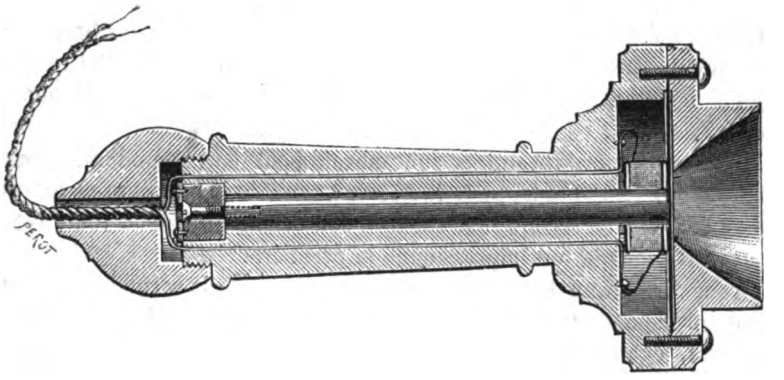
Sur cette tige d'acier une toute petite bobine de fil de cuivre, toute courte et toute voisine de la membrane.

Voilà tout le téléphone, qui est enfermé dans une boîte de bois, dont la forme extérieure reproduit le profil de l'appareil intérieur.

Fonction de l'instrument. — Examinons maintenant comment il fonc-

Digitized by Google

tionne, et disons d'abord que les téléphones transmetteur et récepteur sont reliés l'un à l'autre par deux fils ou par un fil et la terre, de telle sorte qu'il y ait un circuit complet dans le sens télégraphique du mot.



Partons du transmetteur; on le présente à sa bouche, on parle dans l'entonnoir, dans l'embouchure, comme on parlerait dans un vulgaire porte-voix; la membrane de fer vibre à l'unisson de tous les sons que produit successivement et même simultanément la voix; de ces vibrations il résulte des approchements et éloignements de la membrane de fer par rapport au pôle de l'aimant et par suite des courants d'induction dans le fil de la petite bobine.

Vous vous souvenez, en effet, que tout mouvement réciproque entre un aimant entouré d'un fil conducteur et un morceau de fer entraîne la production de courants électriques, dits courants d'induction dans le fil.

Quand le fer s'approche de l'aimant, le courant d'induction est d'un sens que j'appellerai direct; quand le fer et l'aimant s'éloignent, le courant est de sens inverse.

L'intensité de ces courants dépend de l'étendue du mouvement réciproque, et par conséquent, dans le téléphone, de l'amplitude des vibrations, elle dépend aussi de la durée du mouvement.

Par conséquent la production des courants dans le petit appareil que je vous présente, est calquée sur les mouvements vibratoires de la membrane, et si on faisait sur le tableau deux courbes ou diagrammes pour représenter l'un et l'autre phénomène, ces deux courbes seraient identiques.

Et cette courbe, vous le remarquerez, sera symétrique par rapport à l'axe des abscisses (ce sera une sinusoïde avec quelques altérations et complications). Cette symétrie explique comment un galvanomètre même fort délicat est impuissant à accuser l'existence des courants du téléphone; les courants positifs et négatifs se succédant avec une extrême rapidité, leur action sur l'aiguille du galvanomètre est compensée, balancée et finalement inappréciable au galvanomètre.

Digitized by Google

Il me reste à expliquer le fonctionnement de l'appareil récepteur, qui est, comme je l'ai déjà dit, identique au transmetteur.

La série d'actions, de phénomènes que nous avons analysés dans le premier appareil se reproduit ici dans un ordre inverse ; tout ce qui était cause devient effet ; tous les effets deviennent causes. Les courants arrivent dans le fil de la bobine, augmentent ou diminuent le magnétisme du barreau ; il en résulte des attractions de la membrane et des diminutions d'attractions, et enfin des mouvements de va-et-vient de cette membrane, des mouvements vibratoires.

Ces mouvements vibratoires sont absolument correspondants, pour le nombre, pour l'amplitude, pour la nature à ceux de la première membrane, et si on présente ce second instrument à son oreille on entend toute la succession des sons qui ont impressionné la première.

Je vous ai dit que les mouvements vibratoires de la seconde membrane étaient correspondants à ceux de la première ; je n'ai pas dit qu'ils fussent identiques, égaux. Il est bien entendu, en effet, que le mouvement perpétuel n'est pas réalisé ici, et que dans le système en question nous avons, comme dans toutes les machines, une perte résultant de la transmission et des transformations de la force.

Ceci explique comment les sons perçus par l'oreille sont notablement affaiblis.

Appareils en dérivation ou en circuit. — Jusqu'ici nous avons considéré deux appareils seulement, un à chaque station ; mais il est possible de mettre à chaque endroit deux téléphones. Ces deux téléphones sont placés en dérivation ; le courant qui arrive de l'autre extrémité de la ligne se dérive, se partage entre les deux.

On peut disposer les choses encore d'une autre manière ; on peut mettre plusieurs téléphones dans un même circuit ; c'est-à-dire que le courant passe successivement dans les différents appareils ; il n'est pas douteux qu'on ne puisse en mettre un assez grand nombre en circuit ; mais je suis porté à croire que le nombre serait limité.

Quoi qu'il en soit du nombre maximum possible, je puis dire que j'ai fait l'expérience avec trois appareils ; l'un étant dans la cave, l'autre au rez-de-chaussée, le dernier au premier étage. Chacun des trois interlocuteurs entendait ce que disaient les deux autres, et la conversation a été possible, bien que réduite à des échanges de communications fort simples.

Puissance de son de l'instrument. — Les personnes qui essaient pour la première fois le téléphone éprouvent un mécompte ; elles entendent mal. Il faut se tenir en garde contre cette première impression. Il faut comprendre qu'il est difficile d'entendre, si l'on se trouve placé dans un endroit où il y a un grand bruit. Ainsi à la fin de la séance, ceux d'entre vous qui mettront l'oreille au téléphone seront singulièrement gênés par la présence dans la salle d'un grand nombre de personnes qui parleront entre elles et produiront un bruit général et ambiant, duquel il sera difficile de s'isoler.

Digitized by Google

Pour rendre l'audition plus nette, il y a un très-grand avantage à employer deux téléphones en dérivation; on les place un à chaque oreille en ayant soin de les bien appliquer contre le pavillon de l'oreille afin d'arrêter autant que possible les sons étrangers et de les empêcher de venir frapper le tympan.

D'ailleurs, quand on engage une correspondance, il y a grand avantage à maintenir constamment un instrument à l'oreille pour ne rien perdre des interruptions ou des paroles coupées de son interlocuteur; cela est beaucoup facilité par l'emploi de deux appareils dont un seul est transporté de la bouche à l'oreille.

Les expériences qui se feront ici, donneront lieu aux mêmes remarques que toutes celles qui se font par des personnes non habituées; chacun voudra entendre et personne ne se donnera la peine de parler; il faudra que chacun y mette une grande complaisance, se dévoue pour parler au correspondant qui désirera entendre, et surtout qu'on ne perde pas de vue cette règle absolue : que le téléphone doit être toujours à l'oreille pour entendre ou à la bouche pour parler; ne quittant l'une que pour retourner à l'autre.

Transmission du timbre. — Une des propriétés les plus merveilleuses et les plus inattendues du téléphone est celle de transmettre le timbre des sons, à ce point qu'il est possible de distinguer la voix d'une personne de celle d'une autre.

Si vous avez occasion de correspondre avec une femme, vous verrez à quel point il est impossible de se méprendre sur le sexe de l'interlocuteur; et si vous connaissez la voix de cette femme, vous la reconnaîtrez comme si elle vous parlait de la pièce voisine.

Sir William Thomson disait récemment à Glasgow, dans un meeting qu'il présidait, qu'il est possible avec le téléphone de Bell d'entendre à une distance de 50 milles, et non-seulement entendre quels mots sont prononcés, mais de savoir qui les a prononcés parmi les 900 millions de créatures humaines qui peuplent la terre.

Un son simple ne peut avoir que deux qualités : la hauteur et l'intensité.

Le son peut être grave ou aigu et cela entre des limites très-étendues qui correspondent de 32 vibrations à 16,000 vibrations environ par seconde; voilà la hauteur du son.

Un son d'une hauteur donnée peut être faible ou fort : voilà l'intensité.

Mais il n'y a pas dans la nature de son absolument simple; si une corde vibre, si un tuyau raisonne, si une voix humaine chante ou parle, elle rendra un son que vous reconnaîtrez aussitôt, et que vous appellerez par son nom si vous avez l'oreille exercée; vous direz : voilà le *la* normal, ou voilà son octave, ou voilà l'*ut*, ou tel autre.

Vous avez en effet l'impression d'un son fondamental, et c'est de celui-là que vous indiquez le nom; mais ce son principal est accompagné de plusieurs autres.

Chaque fois qu'un instrument se fait entendre, ce n'est pas un son comme le croit le vulgaire que vous percevez, c'est un concert.

Digitized by Google

La composition de cet accompagnement du son principal est différente pour le violon, pour le haut-bois, pour la voix humaine qui chante *a* et pour celle qui chante *o* ou quelqu'autre voyelle.

Cette variété est ce qu'on appelle le timbre. N'est-il pas bien extraordinaire qu'une membrane, et notamment une membrane de fer, vibre à l'unisson à la fois de plusieurs sons coexistants, en laissant à chacun son intensité relative et son importance dans le concert dont j'ai parlé.

Cela est si étonnant qu'on serait fondé à n'y pas croire si on n'en avait la preuve irrécusable dans l'expérience du téléphone. Car c'est là une particularité singulièrement frappante de l'invention de M. Bell qu'elle tranche certaines questions d'acoustique qui n'étaient pas fort claires.

Portée de l'instrument. — Les expériences qui se feront ici se feront à courte distance, d'un étage à l'autre.

J'ai eu occasion d'assister à la première expérience faite en France, à une distance un peu notable; nous étions à Paris, notre interlocuteur à Saint-Germain. Après quelques moments d'hésitation et de manque d'entente, comme il arrive si souvent entre les bureaux télégraphiques, j'avais l'appareil à l'oreille et tout d'un coup j'entendis la voix de notre correspondant, comptant, suivant nos conventions : un, deux, trois; ce fut un moment de véritable émotion.

Malgré le temps qui était détestable et qui devait nuire à l'isolement de la ligne, on parvint à échanger quelques mots; on nous chanta de Saint-Germain le *Clair de la Lune*, et moi je criai une série de bravos qui furent reçus avec joie.

L'expérience a été faite quelques jours plus tard entre Paris et Mantes, 58 kilomètres.

Il paraît qu'en Allemagne on a fait des expériences à des distances à peu près du même ordre. On m'écrit de Cologne qu'un service régulier est établi à Berlin entre le bureau central des Postes et le palais de la Direction des Postes, qui sont à deux kilomètres l'un de l'autre. Mais il n'est pas vrai qu'un service soit établi entre Varzin et Berlin, comme les journaux l'ont dit; cette assertion a été démentie.

En Angleterre, où on nous a devancé comme vous savez, on a fait bien des expériences à distance; la plus intéressante a consisté à parler de la côte d'Angleterre à Jersey, par le câble sous-marin. Cette expérience est capitale, non pas tant à cause de la distance, qu'à cause des conditions particulières aux câbles sous-marins; on était fondé à croire que le téléphone ne pourrait pas fonctionner sur les lignes sous-marines ou souterraines; et malgré le premier démenti donné par le câble de Jersey, je serais tenté de dire qu'on n'ira pas beaucoup plus loin dans ces conditions particulières.

M. Bell m'a affirmé l'autre jour qu'il avait eu occasion de faire une expérience en Amérique à travers une ligne de 258 milles, soit 415 kilomètres, de Boston à New-York.

Les personnes qui ont l'habitude de dire qu'il n'y a rien de nouveau

Digitized by Google

sous le soleil, feront bien, je crois, de réserver ce dicton pour une autre occasion.

Vitesse du son. Vitesse de l'électricité. — Vous remarquerez que l'un des traits du téléphone est qu'il augmente prodigieusement la vitesse du son.

Dans l'air, les vibrations sonores se traînent misérablement à une vitesse de 333 mètres par seconde; dans le fil de fer qui sert à la construction des lignes télégraphiques aériennes, elle arriverait à 5127 mètres ou environ.

La vitesse de propagation de l'électricité, ou du moins ce qu'on appelle ainsi, est bien plus grande; vous savez qu'elle n'est pas fixe et invariable, mais, au contraire, variable avec la matière qui lui sert de véhicule et avec plusieurs autres circonstances. Quoi qu'il en soit, il est difficile de l'évaluer à moins de 40 mille kilomètres par seconde dans les lignes aériennes, et dès lors vous voyez que si je disais que M. Bell a donné des ailes à la parole humaine, j'emploierais une figure fort insuffisante à donner idée du gain de vitesse obtenue.

Actions inductrices des fils voisins. — Dans les expériences auxquelles j'ai assisté entre Paris et Saint-Germain, il s'est produit un phénomène auquel on ne peut guère se soustraire, et que vous me reprocheriez de ne vous avoir pas signalé.

Le téléphone est mis en mouvement par des courants d'une faiblesse extrême, dès lors vous concevez que des courants très-faibles peuvent le troubler. Si des fils sont placés à quelque distance de celui qui sert au téléphone, leur action inductrice s'exercera. Chaque fois qu'ils seront interrompus et rétablis, il se produira des courants induits dans le fil du téléphone, et on entendra des claquements de la membrane vibrante, ou plutôt des deux membranes vibrantes, car les deux appareils sont affectés naturellement de la même façon.

Ce sont là les sons anormaux que nous avons entendus lors de l'expérience de Saint-Germain, et qu'on entendra toutes les fois qu'on opérera sur des lignes à plusieurs fils et surtout aux heures du service le plus actif.

Il est fort remarquable qu'on distingue très-bien la nature des appareils qui fonctionnent sur les fils voisins; nous reconnaissions, sans qu'il fût possible de s'y méprendre, la transmission de l'appareil à cadran : c'était un bruit de moulin à café coupé et intermittent.

La transmission du Morse se distinguait également, et je suis persuadé que si une seule correspondance Morse s'échangeait dans le voisinage, il serait possible d'écouter cette correspondance et de commettre ainsi des indiscrétions qui en temps de guerre, par exemple, pourraient avoir une incalculable importance.

Quand, au contraire, et c'est le cas général en temps de paix, on se trouve dans le voisinage de plusieurs fils travaillant le Morse, on n'entend qu'une série confuse de bruits sans signification qui ont été fort justement

Digitized by Google

comparés par mon ami, M. Preece, électricien de l'administration anglaise des télégraphes de l'État, au bruit de la grêle frappant les carreaux.

Dans des expériences poursuivies à l'administration des télégraphes français (rue de Grenelle-Saint-Germain), sous la direction d'un homme savant et ingénieux que beaucoup d'entre vous connaissent, de M. Bontemps, on a observé les mêmes bruits causés par les courants du voisinage; on distinguait les envois de courants des pendules électriques qui donnent l'heure dans les bureaux et dont les fils cotoyaient sur une certaine longueur celui du téléphone; les personnes habituées reconnaissaient très-bien la transmission de l'appareil de Hughes, et on m'a même affirmé que les employés qui entendent habituellement ces appareils et qui arrivent à lire au son certains mots du moins, pouvaient, dans le téléphone, reconnaître la cadence de ces mêmes mots reçus ou transmis par un appareil Hughes.

Ce qui est fort important au point de vue de la pratique, c'est que ces bruits n'empêchent pas d'entendre les paroles prononcées par le correspondant. Je n'oserais pas affirmer qu'ils ne gêneront jamais la correspondance, mais je puis dire qu'ils ne l'ont pas empêchée dans plusieurs cas venus à ma connaissance. Et vous rencontrerez la même affirmation dans une communication récente de M. Pollard, ingénieur de la marine à Cherbourg, communication adressée à l'Académie des sciences.

Applications. — Je ne parlerai que très-brièvement des applications du téléphone, qui est un porte-voix à portée fort longue. Il remplace les porte-voix dans beaucoup d'établissements où les distances sont très-grandes et où on entend mal avec les tuyaux acoustiques ordinaires.

Les ingénieurs des mines paraissent unanimes à penser que le téléphone rendra de grands services pour communiquer avec le fond des puits et des galeries. Des essais ont été faits dans des houillères anglaises et ils ont eu un plein succès.

M. Bell m'a parlé d'une lampe d'invention nouvelle qui trahit la présence du grisou, en chantant d'une manière particulière, comme fait la lampe philosophique qu'on montre dans les cours de chimie. Sir William Thomson et lui ont fait l'essai et constaté qu'avec le téléphone on entendrait ce chant de la lampe à grande distance, de sorte que l'ingénieur en chef pourrait de son bureau surveiller de temps à autre la composition de l'air de la mine.

Le téléphone se prêtera merveilleusement aux communications avec un ballon captif et ce sera une de ses applications à l'art militaire; déjà nos officiers s'en sont préoccupés.

Le téléphone pourra-t-il servir à bord des navires? quelques personnes le croient : je n'ai pas d'opinion à ce sujet et pas encore d'expérience sérieuse à vous rapporter. J'espère qu'il en sera fait bientôt à bord des navires de l'escadre de la Méditerranée.

Ce que je pourrais dire de plus, chacun de vous l'imaginera sans peine, et je ne voudrais pas vous retenir pour vous faire des comparaisons faciles entre les télégraphes et les téléphones.

Digitized by Google

En dehors des applications à la correspondance, il y en aura certainement d'autres, et je vous demande la permission de vous en signaler une, et de prendre date, devant vous, pour une idée que je n'ai pas encore eu le temps de mettre à l'essai.

Je voudrais employer le téléphone à accuser l'existence de courants extrêmement faibles. Supposez, en effet, une source très-faible d'électricité, une source douteuse et que vous vouliez reconnaître; faites passer ce courant dans un fil fort long enroulé sur une bobine, enroulé parallèlement à un autre fil aboutissant à un téléphone. Si le courant de la source interrogée existe, et qu'on l'interrompe un grand nombre de fois au moyen d'un commutateur quelconque, il induira des courants dans le fil du téléphone qui rendra des sons ou de simples bruits.

Remarquez que cette méthode est susceptible de multiplication, car vous pourrez augmenter à volonté le nombre des circonvolutions du fil qui réagissent toutes les unes sur les autres. On augmenterait encore la sensibilité du système en mettant des fils de fer dans l'âme de la bobine, comme on le fait dans les appareils d'induction de Ruhmkorff.

Antériorités. — Vous savez, Messieurs, que quand un inventeur annonce sa découverte, on commence par lui dire que le fait est faux, et ensuite qu'il n'est pas nouveau.

C'est la règle générale, elle a été appliquée au téléphone. Tant que le téléphone est resté en Amérique, toute l'Europe doutait, et bien des gens sérieux avouent de bonne grâce aujourd'hui qu'ils se refusaient absolument à croire à ce qui se répétait. On disait : A beau mentir qui vient de loin.

Le téléphone est venu en Angleterre, cela n'a pas encore suffi. Mais un beau jour il a franchi le Pas-de-Calais; il est arrivé à Paris, et alors cet instrument est devenu, du jour presque au lendemain, la préoccupation de toute l'Europe.

Il n'est plus question de nier sa capacité; mais nous sommes aujourd'hui dans la seconde période, celle pendant laquelle on recherche les antériorités et pendant laquelle on entreprend de démontrer à l'inventeur que son invention n'est pas nouvelle et pas de lui.

Il est certain que des inventions aussi extraordinaires ne se font pas en un seul jour, et qu'elles ne sont pas comme Minerve, qui sortit tout armée du cerveau de Jupiter.

M. Bell a passé par bien des appareils compliqués avant d'arriver à cet appareil d'une simplicité absolue que je vous présente.

Avant lui des hommes ingénieux avaient cherché à transmettre des sons; et le premier en date est un M. Philip Reis de Francfort, qui publia son travail en 1861 dans les *Jahres Berichte des Franckfurter Vereins der Naturwissenschaften* pour 1860-1861.

Cet appareil, dont j'ai montré un exemplaire fort ancien à la Société de physique, fait le plus grand honneur à son inventeur; vous en trouverez la description dans le *Journal de Physique* qui va paraître; dans le journal

Digitized by Google

la Nature, avec la signature de M. Bontemps; dans le *Magasin pittoresque*, dans un fascicule qui paraîtra bientôt.

Mais l'appareil de M. Reis ne transmettait ni l'intensité du son, ni le timbre; il ne transmettait que la hauteur du son, et encore ne faisait-il cette besogne que d'une manière assez imparfaite.

Après M. Reis sont venus d'autres inventeurs de téléphone; mais, à mon avis, ni les inventions de M. Elisha Gray (de Chicago) et de M. Lacour (de Copenhague), ni les autres qui sont venues à ma connaissance ne présentent un grand intérêt.

Sir Willliam Thomson a exprimé son avis à Glasgow, en disant que les téléphones qui ont précédé celui de Bell en diffèrent autant que les battements de la main diffèrent des sons de la voix humaine.

Je ne sais pas de plus importante autorité à invoquer.

Progrès possibles. — Si je vous disais que M. Bell a fait une chose tellement parfaite qu'il n'est pas possible de l'améliorer, vous ne me croiriez pas. Mais je me garderai bien de dire et de croire moi-même pareille chose.

On a parlé de téléphones qui emploieraient une pile et qui, moyennant cette complication nouvelle donneraient des sons plus intenses que celui de M. Bell. Ce serait là un progrès important; malheureusement les expériences qui ont été faites à Londres n'ont pas encore réussi. Espérons qu'on réussira bientôt.

On a parlé d'appareils qui enregistreraient la voix et qui partant de cet enregistrement la reproduiraient ensuite, soit tout de suite, soit dans dix ans ou dans cinquante ans. Si invraisemblable que puisse paraître une pareille allégation, je n'hésite pas à dire que je crois que nous verrons cette merveille, que nous la verrons bientôt.

Vous trouverez mon affirmation moins osée, quand vous saurez que M. Marcel Deprez l'un de nos plus ingénieux et savants confrères s'occupe de cette question depuis longtemps déjà, avec M. Napoli. Ces Messieurs ont réalisé un appareil reproducteur de la voix humaine.

Au centre d'une membrane ébranlée par la voix est placé un petit style fort léger qui écrit sur du noir de fumée. La courbe qu'il trace, pour qui saurait la lire, serait une écriture sténographique d'une fidélité absolue. Cette courbe sert à la production d'une lame métallique dentelée dont les dentelures reproduisent la courbe. Cet organe mécanique une fois réalisé on comprend comment il peut servir par sa translation à commander un levier d'une extrême légèreté, qui par son autre extrémité agit sur une membrane.

Cette seconde membrane reproduit par conséquent toutes les vibrations de la première, amplifiées ou diminuées à volonté. Elle fait entendre les sons qu'a entendus précédemment la première membrane.

De là au téléphone, la distance n'est pas fort grande, et je n'y insiste pas.

Digitized by Google

Je dirai un mot du téléphone multiple de M. Trouvé, dont l'Académie des sciences a été saisie dernièrement. Il est formé de quatre membranes, formant les quatre côtés latéraux d'une boîte cubique; ces quatre membranes vibrent simultanément et concourent à produire des courants d'induction, dont l'effet peut être concentré sur une seule des membranes du récepteur.

L'idée est ingénieuse, comme toutes celles de ce fécond inventeur.

Quoi qu'il en soit des surprises que nous réserve l'avenir et le génie persévérant des inventeurs, veuillez reconnaître avec moi, Messieurs, que si M. Bell cessait de travailler à partir d'aujourd'hui, il pourrait encore dire: J'ai fait ma tâche, que mes successeurs fassent la leur.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Niaudet de son intéressante communication.

MM. Brault, Bouvet, de Lignières et Lombard-Gérin ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 21 Décembre 1877.

PRÉSIDENCE DE M. DE DION.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 décembre est adopté.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. LOUSTAU, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre de Sociétaires, qui était, au 15 décembre 1876, de.	1346
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de.	109
	1455
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'année.	35
Nombre total des Sociétaires au 21 décembre 1877. . .	1420

Les recettes effectuées pendant l'exercice 1877 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, etc.).	48,716 32	55,316 32
2° Pour le fonds social inaliénable (11 exonérations).	6,600 »	
Il reste à recouvrer en droits d'admissions et cotisations. . .		18,338 »
Total de ce qui était dû à la Société.		73,654 32

Digitized by Google

Au 15 décembre 1876, le solde en caisse était de.	13,401 02	68,717 34
Les recettes effectuées pendant l'exercice 1877, se sont élevées à.	55,316 32	
Les sorties de caisse du semestre se sont élevées à :		
1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.).	48,355 25	64,668 85
2° Pour achat de 16 obligations du fonds courant.	5,313 60	
3° Pour remboursement de 11 obligations par conversion d'exonération (capital inaliénable).	5,500 »	
4° Remboursement de 5 obligations désignées par le sort dans l'Assemblée générale du 15 juin 1877.	2,500 »	
Il reste en caisse à ce jour..		7,048 49

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante à la date du 21 décembre 1877.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.	7,048 49
2° De 81 obligations du Midi, achetées avant 1876, ayant coûté	25,944 80
3° De 16 obligations du Midi, achetées en 1877, ayant coûté.	5,313 60
	38,306 89

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° Un hôtel dont la construction a coûté.	278,706 90
2° Montant de 11 exonérations effectuées pendant l'exercice.	6,600 »
3° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000 »
	329,613 79

Le Trésorier, dans le compte rendu de la situation financière, a rappelé qu'en vertu d'une décision du Comité, en date du 19 mai 1876, plusieurs possesseurs d'obligations de l'emprunt fait par la Société en juin 1872, s'étaient exonérés pendant le semestre écoulé, en abandonnant leur obligation de 500 francs et ajoutant un versement de 100 francs.

Onze obligations ont été retirées de la sorte; elles portent les numéros 40, 59, 66, 117, 120, 123, 124, 133, 161, 162 et 171.

Dans une autre séance du Comité, du 6 avril 1877, il a été décidé que *cinq* obligations seraient remboursées en 1877, par un tirage au sort qui aurait lieu dans la réunion de la Société en Assemblée générale, le 15 juin 1877.

Digitized by Google

Ce tirage a amené les numéros 5, 78, 99, 132 et 167; le remboursement de ces cinq obligations a été effectué.

M. LE PRÉSIDENT propose à l'Assemblée d'approuver les comptes qui viennent de lui être présentés, et d'offrir à M. Loustau, trésorier, les plus sincères remerciements pour sa gestion et son dévouement constant aux intérêts de la Société.

Ce vote a lieu à l'unanimité et par acclamation.

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1878.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président :

M. TRESCA (Henri).

Vice-Présidents :	*Secrétaires :*
MM. Jordan (Samson).	MM. Mallet (Anatole).
De Dion (Henri).	Rey (Louis).
Molinos (Léon).	Armengaud (jeune fils).
Muller (Émile).	Badois (Edmond).

Trésorier : Loustau (G.)

COMITÉ.

MM. Farcot (Joseph).	MM. Chabrier (Ernest).
Courras (Philippe).	Bourdais (Jules).
Périssé (Sylvain).	Arson (Alexandre).
Forquenot (Victor).	Barrault (Émile).
Desgrange (Hubert).	Chobrzynski (Jean).
Ermel (Frédéric).	Orsat (Louis).
Marché (Ernest).	Vée (Léonce).
Demimuid (René).	Péligot (Henri).
Morandiere (Jules).	Brüll (Achille).
Mathieu (Henry).	Tresca (Alfred).

Digitized by Google

ÉTUDE

SUR L'UTILISATION DE LA VAPEUR

DANS LES LOCOMOTIVES

ET L'APPLICATION A CES MACHINES

DU FONCTIONNEMENT COMPOUND

PAR M. A. MALLET.

INTRODUCTION.

Le mémoire qui va suivre se divise en deux parties : la première, qui a pour objet le développement des considérations que nous avons eu l'honneur de présenter à la Société des Ingénieurs civils dans les séances des 5 et 19 janvier 1877, comprend l'étude générale du fonctionnement des machines locomotives comme moteurs à vapeur; elle était terminée depuis longtemps déjà, au moins en grande partie, et sa publication n'a été retardée que par le désir que nous avions de lui adjoindre son complément naturel, la seconde partie, comprenant l'étude de l'application du fonctionnement Compound aux locomotives, fonctionnement que nous présentions comme le moyen le plus simple et le plus efficace d'accroître l'utilisation de la vapeur dans ces machines. Nous avons dû attendre, pour cette seconde partie, de pouvoir présenter des résultats basés sur une pratique suffisamment prolongée.

A l'époque où ce travail avait été fait, on ne trouvait, comme nous le montrerons ci-après, dans les ouvrages spéciaux, que des renseignements très-imparfaits, sinon tout à fait inexacts, sur le sujet qui nous occupe, et nous avions essayé de combler ce qui nous paraissait une lacune regrettable dans l'étude de la machine locomotive, en nous flattant de l'espoir de présenter à la Société des Ingénieurs civils un travail empreint d'une certaine originalité.

Mais, à peu près à la même époque, M. l'inspecteur général Couche

Digitized by Google

fit paraître un dernier fascicule qui forme le couronnement de son grand ouvrage : *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer.* Dans cette dernière partie, l'éminent professeur a abordé la question du travail intime de la vapeur dans les cylindres et, nous avons à peine besoin de le dire, a imprimé à cette étude son cachet magistral. Nous avons pensé, toutefois, que si l'originalité de notre travail était quelque peu diminuée, nous devions nous considérer comme amplement dédommagé par l'honneur de nous voir en parfaite communauté d'idées avec un auteur dont les ouvrages sont aujourd'hui classiques. De plus, nous proposant de ne traiter la question des locomotives qu'au point de vue exclusif de l'utilisation de la vapeur, nous pouvions entrer dans des détails que ne comportait pas un ouvrage d'une portée beaucoup plus vaste, et comme, d'ailleurs, nous pensions avoir introduit dans cette étude des aperçus et des méthodes d'investigation qui nous sont personnelles, nous avons cru qu'après le livre de M. Couche il y avait encore place pour des travaux plus modestes, et c'est pour cela que nous nous sommes décidés à livrer cette étude à la publicité.

Plus récemment, M. Ledoux, ingénieur des mines, a fait paraître dans les *Annales des Mines* une remarquable étude sur les *Condensations de la vapeur à l'intérieur des cylindres de machines*, dans laquelle cette question est traitée d'une manière très-complète en ce qui concerne les locomotives.

Pour cette étude, l'auteur a employé une méthode de calcul précédemment indiquée par M. Leloutre[1] pour les machines fixes, méthode qui permet de trouver *au moyen des diagrammes d'indicateurs seuls*, la quantité d'eau réellement dépensée par un moteur, connaissant le degré de surchauffe ou la proportion d'eau entraînée, si la machine travaille avec de la vapeur saturée, et inversement, connaissant la dépense d'eau, d'en déduire la quantité d'eau mélangée avec la vapeur sortant de la chaudière.

Ce travail, présenté sous une forme peut-être un peu trop savante pour les applications pratiques, est de nature à jeter beaucoup de jour sur une question aussi importante, bien que nous fassions dès à présent quelques réserves sur les conclusions auxquelles arrive l'auteur, réserves sur lesquelles nous reviendrons dans le cours de cette étude.

1. *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France.* Année 1874, pages 215, 224, 225 et 226.

Digitized by Google

PREMIÈRE PARTIE

UTILISATION DE LA VAPEUR

DANS LES

MACHINES LOCOMOTIVES

I. — Exposé et Considérations générales.

Le but que nous nous proposons dans cette première partie est d'étudier le fonctionnement intime de la vapeur dans les machines locomotives et de chercher à en déduire les améliorations qu'il est possible d'y apporter pour amener au minimum la quantité d'eau à vaporiser dans la chaudière pour la production d'un travail donné.

On sera peut-être surpris d'apprendre qu'alors que ce genre de machines, dont il existe actuellement, d'après certaines statistiques, 50 à 60,000 exemplaires dans le monde entier, a été minutieusement étudié jusque dans les plus petits détails de construction, du train, de la chaudière et du mécanisme, le mode d'action de la vapeur dans la machine considérée exclusivement comme moteur, est au contraire relativement peu connu, et les travaux cependant bien remarquables faits sur ce point intéressant trop généralement ignorés. Il suffit, pour s'en convaincre, de parcourir les ouvrages spéciaux; la plupart ne donnent que peu ou même point de renseignements sur la question; d'autres, on est bien obligé de le constater, contiennent des notions propres à accréditer les idées les plus fausses sur un point aussi capital.

Les causes de cette négligence apportée à l'examen d'une question aussi considérable sont multiples; l'une des principales consiste dans la complexité même de l'ensemble qui constitue le problème de la traction par locomotive; en présence de questions si diverses, englobées

Digitized by Google

dans cet ensemble, l'ingénieur de chemins de fer et le constructeur de machines ont dû se laisser généralement amener à reléguer dans un arrière plan un élément dont l'influence immédiate sur les résultats à obtenir leur paraissait un peu secondaire. Nous justifierons cette assertion par des citations qui empruntent une certaine autorité à la compétence indiscutable de leurs auteurs sur les questions de traction et de matériel de transport.

« 1° Les perfectionnements qu'on peut apporter aux machines locomotives eussent-ils pour effet de réduire de moitié la consommation de combustible pour un même travail produit, et c'est là une amélioration fort improbable, cette réduction de dépense qui, vraisemblablement, couvrirait de gloire l'ingénieur qui l'aurait réalisée, produirait une économie insignifiante sur le coût du transport des voyageurs et des marchandises[1].

« 2° Il n'y a, en dehors de ce genre d'améliorations (substitution de l'acier au fer et emploi à l'accroissement de la surface de chauffe et à l'extension des approvisionnements de la plus grande partie possible du métal des machines), de progrès sérieux possibles que dans une transformation radicale du moteur qui surgirait à la suite d'une véritable révolution dans les conditions actuelles de sa sphère d'activité. Il est facile de se rendre compte de cette assertion quand on considère quelle faible réduction dans le coût du transport réaliseraient dans l'état actuel des choses les plus importantes économies dans la consommation de combustible.

« Prenons une machine du type le plus récent employé au service des voyageurs, développant une puissance de traction d'environ 3,500 kilogrammes et remorquant 16 voitures à une vitesse de régime de 45 kilomètres à l'heure.

« La consommation de combustible est, par kilomètre parcouru par le train, de 7 à 8 kilogrammes, représentant une valeur de 20 à 25 centimes. Une réduction de 25 pour 100 sur cette consommation peut-elle être le résultat du perfectionnement mécanique de la locomotive? Est-elle possible? Évidemment non.

« Admettons-le pourtant. Supposons cette réduction réalisée; tout compte fait, on aurait économisé 5 à 6 centimes par kilomètre parcouru. Le constructeur de locomotives doit donc porter ses soins et toute son attention sur le bon agencement des divers organes de la machine et la répartition logique de son poids sur chaque essieu, sur la réduction du métal inutile, par la mise en œuvre des métaux très-résistants, sur l'augmentation de la surface de chauffe, beaucoup plus que sur des dispositions imaginées dans le chimérique espoir de réduire la consommation du combustible dans des proportions considérables pendant la période d'exploitation[2]. »

1. Vidard, *Recherche du meilleur système de voiture à adopter pour le transport des voyageurs sur les chemins de fer.*

2. Level, *Construction des chemins de fer d'intérêt local.*

Digitized by Google

Une manière aussi catégorique de poser une question ne semble guère, on en conviendra, de nature à encourager les tentatives d'amélioration de la locomotive en tant que machine à vapeur. Cependant, sans se laisser arrêter à la prétendue impossibilité de la réalisation d'une économie de 25 pour cent sur les consommations actuelles, on peut se demander si l'obtention de cette économie aurait des conséquences aussi insignifiantes que veulent bien le dire les auteurs des citations que nous venons de faire.

Ne pourrait-on leur répondre que si une grande ligne de chemins de fer dépense actuellement cinq millions de francs de combustible par an, une réduction de 25 pour cent sur ce chiffre constitue une somme de *douze cent cinquante mille francs*, qui n'est pas à dédaigner même pour les plus puissantes sociétés? Nous ajouterons que, pour l'honneur même de la science de l'ingénieur, il est désirable de ne pas voir gaspiller en pure perte un combustible aussi précieux que la houille, et de ne négliger aucune économie si insignifiante qu'elle puisse paraître en valeurs relatives.

Mais il y a plus, et les ingénieurs que nous nous permettons de prendre à partie nous semblent n'avoir envisagé qu'un côté de la question. Nous allons démontrer qu'une réduction absolue de 25 pour cent sur la consommation du combustible est de nature à entraîner d'autres avantages que celui de la réduction immédiate de la dépense de ce chef. Ainsi :

1° Dans bien des cas, la réduction de la dépense de combustible entraînera pour une chaudière donnée, par suite de la moindre consommation par mètre carré de grille et par mètre carré de surface de chauffe, une amélioration dans la production et dans l'utilisation du calorique, qui viendra greffer une seconde économie sur la première, c'est-à-dire que si, pour un même travail effectué, on réduit la dépense de combustible de 1,000 à 750 kilogrammes, cette réduction pourra amener une amélioration de la combustion et de la vaporisation telle que le produit en vapeur du kilogramme de combustible soit, par exemple, porté de 8 à $8^{k},5$. La dépense, qui était de $\frac{1,000}{8} = 125$ kil., descendra à $\frac{750}{8,5}$, et l'économie définitive sera de 30 pour cent au lieu de 25. En outre la réduction de la consommation par mètre carré de grille permettra généralement l'emploi de combustibles de qualité

Digitized by Google

inférieure qui déterminera une nouvelle réduction de dépense. Ce sera l'équivalent de l'agrandissement de la grille et du foyer.

2° La moindre intensité de la combustion et de la vaporisation améliorera les conditions de travail du foyer et de la chaudière et en augmentera la durée en réduisant les dépenses d'entretien.

3° Dans les machines neuves, les chaudières pourront être notablement moins grandes, à travail égal ; il s'en suivra une réduction de prix et des facilités très-appréciables pour l'arrangement général des machines et la répartition des charges sur les essieux. On sait combien les grands foyers des machines actuelles sont difficiles à loger.

4° La réduction de la quantité d'eau à dépenser conduit à une réduction non-seulement du poids des approvisionnements, mais encore du poids des caisses à eau, etc., finalement du poids mort à traîner, question importante pour les machines à tender séparé.

5° Enfin, la réduction de l'approvisionnement d'eau constitue la plus naturelle et la meilleure solution du problème des grands parcours sans prise d'eau intermédiaire, problème qu'on a cherché à résoudre en Angleterre et aux États-Unis au moyen de la rigole Ramsbottom, et un peu partout par l'emploi de tenders monstrueux pesant jusqu'à 30 tonnes.

Il est bien évident que si on dépense 25 pour cent d'eau de moins par kilomètre, on fera avec la même quantité d'eau un parcours plus long dans la même proportion.

Nous avons fait voir, il y a quelques années, dans un travail inséré au Bulletin de la Société, année 1869, page 459, que sur le navire à vapeur les économies s'enchaînent, et que la première réduction, se multipliant par plusieurs facteurs successifs, finit par produire une diminution considérable du coût du transport maritime. Dans les locomotives, il en est de même, bien qu'à un moindre degré, et on se tromperait beaucoup en ne voyant dans l'amélioration du travail de la vapeur dans les cylindres qu'une économie de quelques centimes de charbon par train kilométrique.

A côté des opinions peu encourageantes que nous venons de combattre, on doit également signaler les idées fausses qui ont, dès l'origine des locomotives, été répandues, et depuis entretenues comme à plaisir sur ces machines, en tant que machines à vapeur. On voit à chaque instant professée dans les traités cette opinion, par exemple, que la puissance

Digitized by Google

des machines locomotives ne s'estime pas comme celle des machines à vapeur ordinaires, c'est-à-dire en chevaux, qu'on l'estime par la charge remorquée dans certaines conditions de profil et de vitesse; dans des discussions remarquables qui eurent lieu à la Société des Ingénieurs civils à la fin de 1864 et dans les premières séances de 1865, au sujet de machines de bateaux transatlantiques, un de nos collègues, ingénieur distingué, s'élevait avec une sorte d'indignation contre toute tentative tendant à évaluer la puissance de machines destinées à des applications différentes en mesures permettant des comparaisons; il voyait là une tendance absolument antiscientifique; ce sont des idées de ce genre qui ont contribué à maintenir jusqu'ici la confusion dans une question facile à élucider cependant.

Ajoutons, enfin, d'autres motifs empruntés au fonctionnement même des machines, comme on le verra plus loin, et aussi les fausses théories encore trop répandues aujourd'hui sur les machines à vapeur en général.

Voici à ce sujet l'opinion d'un de nos collègues, M. Leloutre, dont les beaux travaux sur les machines à vapeur sont bien connus :

« Des aperçus complétement faux sur le mode d'action de la vapeur dans nos moteurs, admis sans discussion, ont empêché jusqu'à ce jour, une analyse sérieuse des causes qui pouvaient donner lieu à la différence qui existe entre le poids de vapeur calculé et le poids de vapeur observé..... On continue à traiter la théorie des machines à vapeur d'une manière un peu trop primitive. Dans les ouvrages spéciaux, et les cours sur les machines à vapeur, on procède à peu près ainsi. On suppose les cylindres imperméables au calorique à raison de la petite fraction de temps exigée pour une course de piston. On fait alors arriver la vapeur dans un récipient géométrique insensible à la chaleur, et l'on applique la loi de Mariotte, puis viennent quelques formules algébriques, et on établit ainsi une théorie des Machines à vapeur.

« L'autorité d'un nom aidant, cette théorie entre gravement dans le monde et même hélas! elle est sûre de faire son chemin (*Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*). »

L'opinion de M. Hirn n'est pas moins intéressante à connaître :

« Pour établir la théorie spécifique ou particulière d'un moteur, nous avons visiblement à remplir deux conditions tout à fait essentielles :

« 1° Il nous importe d'abord de connaître exactement tous les phénomènes auxquels donne lieu l'action de la force sur le corps qui sert d'intermédiaire; c'est ainsi que pour construire la théorie de la machine à

Digitized by Google

vapeur, il est indispensable de connaître tous les résultats de l'action du calorique sur l'eau.

« 2° Ces phénomènes étant bien déterminés, nous avons à rechercher à quels effets conduit leur réalisation, lorsque le corps soumis à l'action de la force se trouve renfermé dans un organisme spécial, capable de recueillir et de transmettre les effets dynamiques produits.

« La première condition étant remplie, l'étude des propriétés les plus saillantes des corps intermédiaires, sur lesquels agit la force, étant faite en même temps à l'aide de l'expérience et de l'analyse mathématique combinées, *mais toujours en dehors du moteur lui-même et indépendamment de toute forme spéciale d'application,* nous pouvons considérer l'organisme du moteur comme un assemblage de pièces dénuées de propriétés physiques, imperméables au calorique, comme un simple réceptacle mécanique sans action sur le corps qui sert d'intermédiaire à la force, en un mot, admettre implicitement que le corps transporté du cabinet du physicien dans l'intérieur de la machine, n'éprouve aucune modification quant aux phénomènes qu'il produit. Ou bien considérer les choses au point de vue réel, tenir compte des propriétés physiques des pièces du moteur, chercher à évaluer les perturbations que peut introduire, dans les effets dynamiques du corps sur lequel agit la chaleur, l'action des parois des cylindres, des tiges et des surfaces métalliques des pistons perméables au calorique.

« Laissons le nom de *théorie générique* à la première méthode qui est appliquée à l'étude de tous les moteurs thermiques, lorsqu'on s'appuie sur la non-conductibilité calorifique des gaz pour négliger l'influence des parois des cylindres, et appelons *théorie pratique* celle où l'on tient compte, dans les phénomènes analysés, des conditions particulières que l'application à tel ou tel cas donné impose aux théorèmes généraux; il est évident que c'est cette dernière seule qui peut conduire à des résultats exacts (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 2e trimestre 1876). »

Les prétendues théories, que M. Hirn a baptisées du nom de théories génériques, peuvent à peine suffire aux savants pour des recherches spéculatives; appliquées imprudemment aux machines, elles conduisent inévitablement l'ingénieur à des résultats qui sont en contradiction formelle avec les faits observés, ou qui du moins, pour y correspondre, exigent l'emploi de coefficients dépassant toute limite raisonnable. Elles ont malheureusement été propagées par des personnalités éminentes, surtout à l'étranger, et ont par là répandu les idées les plus inexactes sur la question des machines à vapeur ; nous croyons qu'on ne saurait trop en signaler les dangers.

Examinons la question de la mesure de la puissance développée par les machines locomotives.

Digitized by Google

Dans toute espèce de machine motrice (à vapeur dans l'espèce) appliquée directement, c'est-à-dire sans transmission indépendante, à une opération quelconque, on distingue deux modes d'évaluation du travail produit[1]; l'un, qui est la mesure industrielle, donne le résultat net en unités particulières à l'opération exécutée, ce sera pour les machines appliquées au transport par terre ou par mer, des tonnes transportées à des distances horizontales ou verticales dans l'unité de temps, cas des locomotives, bateaux, grues à vapeur, etc., des volumes d'eau élevés à des hauteurs données, pour les pompes à vapeur, des unités analogues pour des machines soufflantes, etc. Nous sommes loin de contester l'utilité de ces évaluations, qui permettent de comparer entre elles des machines faisant le même genre de travail; mais il est facile de voir que cette expression, confondant ensemble le travail de la machine motrice et celui de l'opératrice, si elle peut suffire aux transactions commerciales, est sans valeur scientifique et ne saurait satisfaire l'ingénieur qui cherche à approfondir les questions relatives aux moteurs.

Tel est, par exemple, l'évaluation de la dépense de charbon en *eau montée*, ou l'ancienne expression de *duty* des ingénieurs anglais, évaluations qui englobent les différents rendements de la chaudière, de la machine, des transmissions, s'il en existe, et enfin des pompes.

Il y a heureusement une autre expression du travail qui peut, au contraire, s'appliquer à toute espèce de machines à vapeur, du moins à toutes celles qui, comme la presque totalité, consistent en un piston à mouvement alternatif pressé par la vapeur, tantôt sur l'une de ses faces, tantôt sur l'autre; c'est ce qu'on appelle le travail brut sur le piston ou travail indiqué, parce que l'élément principal est la pression moyenne déduite d'un diagramme relevé à l'indicateur. Cette évaluation de la puissance laisse en dehors celle qui est consommée par les résistances des transmissions, des opérateurs, etc., mais ces résistances ne sont en définitive qu'une fraction plus ou moins grande du total, et peuvent être déterminées assez exactement dans chaque cas particulier; il semble donc logique que la puissance brute, qui est nécessairement la plus grande et celle qui en définitive se paye, soit la première déterminée.

1. Nous passons avec intention sous silence l'expression de puissance dite *nominale*, qui a, pour sa part, contribué considérablement à embrouiller les questions de machines à vapeur, et qui fort heureusement commence à disparaître.

Digitized by Google

L'intérêt de l'emploi des puissances brutes pour les comparaisons n'est pas douteux. Quelle que soit la manière dont on utilise le travail d'une machine à vapeur, il n'en est pas moins vrai que celui-ci est produit par la différence entre le nombre de calories possédé par le mélange de vapeur et d'eau qui sort de la chaudière et celui que conserve le mélange à son entrée dans le milieu condensant (atmosphère ou condenseur proprement dit), défalcation faite de certaines pertes accessoires. En somme, la comparaison doit toujours porter sur le nombre de calories que représente l'élévation à une hauteur d'un mètre par seconde d'un poids de 75 kilogrammes, traduite sous la forme du déplacement d'un piston parcourant sous une certaine pression une certaine distance dans une seconde.

N'est-il donc pas utile de savoir que dans tel ou tel cas cette quantité correspondra à l'absorption de 1,5 calories par seconde, dans tel autre de 2,5 ou 3, et de cette comparaison entre des appareils de destinations diverses mais opérant, en tant que moteurs à vapeur, dans des conditions analogues, ne pourra-t-on pas tirer de précieuses indications quant aux améliorations à apporter aux moins avantageux? Poser cette question, c'est la résoudre.

Depuis quelques années les machines fixes, et plus récemment les machines marines, ont reçu d'immenses perfectionnements qui ont au moins doublé l'utilisation du combustible; le mode d'action de la vapeur dans les locomotives est, au contraire, resté absolument le même depuis un peu plus de trente ans, c'est-à-dire depuis l'emploi devenu général de la distribution avec détente variable au moyen des coulisses de divers genres, dérivées de la coulisse primitive dite de Stephenson[1]. Faudrait-il en conclure, comme certains, que ces machines étaient parvenues dès ce jour-là au dernier degré de perfection et qu'il n'y avait plus rien à tenter? Nous verrons plus loin qu'il en est tout autrement, et que si la vapeur travaille dans les locomotives beaucoup mieux qu'on ne le croirait au premier abord, et cela par suite de circonstances inhérentes ou à peu près à leurs conditions de service, il y a cependant de très-notables améliorations à réaliser. Les raisons qui poussent quelques personnes à vouloir maintenir les locomotives, en tant

1. Si on nous objectait que la consommation kilométrique a considérablement diminué pour le même travail, nous répondrions que cette diminution tient beaucoup moins à *la meilleure utilisation de la vapeur* qu'à des causes étrangères à notre sujet, et notamment à la meilleure utilisation des machines.

Digitized by Google

que machines à vapeur, dans une catégorie à part sont empruntées à quatre ordres d'idées principaux.

1° Les locomotives sont des machines à vapeur sans condensation;

2° Elles fonctionnent avec détente variable par la coulisse;

3° Elles travaillent à une grande vitesse de rotation, 2 à 3 tours et plus par seconde;

4° Elles font un travail en général très-variable.

Sans anticiper sur des développements qui trouveront leur place naturelle plus loin, nous nous bornerons à répondre dès à présent que :

1° Si les machines locomotives ne condensent pas dans un condenseur proprement dit, elles condensent dans l'atmosphère, et que, dans toute machine à vapeur, on doit considérer les chutes de températures; or entre 180°, température de la vapeur sortant de la chaudière, et 100°, température correspondant à l'échappement, il y a 80° de différence, c'est-à-dire la même différence qu'entre les températures de 140° et de 60° qu'on rencontre dans la plupart des machines fixes ou marines à condensation;

2° La détente par la coulisse n'est pas favorable aux introductions réduites, et il y a de ce fait, comme on le verra plus loin, une nouvelle perte d'effet utile qui, sans être exagérée, n'est cependant pas négligeable;

3° La grande vitesse de rotation des machines de locomotives a une influence favorable d'un côté, défavorable de l'autre sur le rendement; d'ailleurs, il y a aujourd'hui des machines qui fonctionnent à des vitesses peu différentes, quelquefois supérieures; il y a des machines de navigation qui donnent 120 tours par minute; sur le yacht *Gitana*, une machine Compound à condensation de Thorneycroft, a donné 350 tours en développant 450 chevaux bruts sur les pistons;

4° Le travail variable que développent généralement les locomotives nécessite, au contraire, des dispositions spéciales, et la mesure de ce travail des précautions particulières sur lesquelles nous reviendrons. Nous ne saurions, en tout cas, voir là d'impossibilité à établir les comparaisons dont nous parlons.

Bien que nous nous proposions uniquement d'étudier l'action de la vapeur dans les cylindres de la machine locomotive, en laissant complétement de côté l'examen des diverses résistances du mécanisme et du véhicule, nous devons signaler ici ce qu'a de singulier, à notre avis, le

Digitized by Google

mode d'évaluation employé pour ces résistances par la plupart des auteurs.

On voit, par exemple, dans le *Mémoire sur la résistance des trains et la puissance des machines*, couronné par la Société en 1867, compter comme suit la résistance d'une machine [1] :

1° Pour les résistances dues au roulement..	5k,22
2° — — au frottement du mécanisme.	4 ,38
3° — — aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur (valeur approximative).	3 »
Résistance totale par tonne.	12k,60

Autant il est naturel d'évaluer les résistances au roulement en fonction du poids des machines, autant, malgré l'autorité qui s'attache au nom des auteurs du Mémoire précité, il nous paraît illogique de rapporter à ce poids les frottements de pistons, tiroirs, glissières, têtes de bielles, etc., qui n'ont absolument rien à voir là. De ce mode d'évaluation on devrait conclure que la résistance absolue d'une machine, en tant que machine à vapeur, est exactement la même, qu'elle marche à vide ou qu'elle remorque un train, et par conséquent la résistance relative variera considérablement selon la puissance développée.

Ainsi, le chiffre de 7k,38 par tonne donnerait, pour une machine pesant 30 tonnes, une résistance totale de 221k,4 qui, à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure, représenterait un travail de 51 chevaux, absorbé par les seuls frottements du mécanisme; ce travail correspondrait à une fraction de 0,18 ou 0,28 pour cent du travail brut sur les pistons, selon que la machine développerait 220 chevaux, comme dans une des expériences citées, ou 145 comme dans une autre.

Nous trouvons de même dans le mémoire de M. Ledoux sur la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres de machines, cité au commencement de ce travail, la résistance due au mécanisme et à l'accouplement comptée à raison de 10k,50 par tonne de machine et de tender, soit à raison de 577 kil. dans l'espèce. Or, l'effort de traction variant de 636 à 3,122, selon que la vitesse varierait de 70 kilomètres

1. Nous citons ce Mémoire parce que c'est un des ouvrages les plus récents sur la matière, mais le mode d'évaluation dont il est question est donné dans la plupart des traités, le *Guide du Mécanicien*, par exemple.

Digitized by Google

à l'heure à 31, il en résulterait que les résistances de la machine seraient dans un cas de 47 pour cent. et dans le second de 15 pour cent du travail total.

Bien qu'on doive admettre, ce que confirment d'ailleurs de récentes expériences de la Société industrielle de Mulhouse, que le rendement organique de l'appareil n'est pas tout à fait constant et varie dans certaines limites avec la valeur même du travail, il n'en est pas moins vrai que ces limites sont peu étendues, et que le mode d'évaluation des résistances du mécanisme en fonction du poids de la machine, et surtout du tender, ne peut être considéré comme rationnel.

Il n'y a qu'une manière logique d'évaluer les résistances du mécanisme, c'est de les rapporter au travail brut fourni, comme on le fait pour toutes les machines possibles, et là, pas plus que pour le reste, il n'y a de raisons de mettre la locomotive à part. Les frottements du mécanisme absorbent, par exemple, de 10 à 15 pour cent du travail brut développé sur les pistons; il faut remarquer, d'ailleurs, comme nous l'avons expliqué dans de récentes discussions, que ces frottements ne comprennent que la partie du frottement de l'essieu moteur qui est due à la pression de la vapeur, et que les résistances de la machine considérée comme véhicule doivent être comptées à part, au moyen d'un coefficient convenable, celui, par exemple, de 5^{k},22 indiqué plus haut ou tout autre. Il n'y a guère de raisons, au moins dans les machines qui ne sortent pas de la moyenne, pour que les résistances au roulement proprement dit (accouplement à part), soient plus grandes par tonne que pour un autre genre de véhicule.

II. — Mesure de la puissance par l'indicateur.

La puissance brute, développée sur les pistons d'une machine à vapeur, se mesure en faisant le produit de la section des pistons par la pression moyenne effective de la vapeur pendant la durée de la course, ce qui donne un effort moyen qui, multiplié par la vitesse des pistons, détermine le travail par seconde en kilogrammètres.

La pression moyenne effective s'obtient au moyen du diagramme relevé à l'indicateur.

Nous ne décrirons pas ici les indicateurs qu'on emploie ordinairement et qui sont bien connus; le principe est toujours le même que celui

Digitized by Google

de l'indicateur dit de Watt, parce qu'il a été, paraît-il, employé d'abord par l'illustre mécanicien. Cet appareil se compose d'un piston de très-petit diamètre qui, mis en communication avec le cylindre à vapeur et pressé par la vapeur, fait plus ou moins fléchir un ressort, de sorte que les positions du piston dans le cylindre sont proportionnelles à la pression de la vapeur dans le grand cylindre. Si on fait reproduire ces positions successives sur une bande de papier qui se déroule, on obtiendra un diagramme représentatif du travail de la vapeur; le traceur de l'indicateur a été pendant longtemps fixé sur la tige même du petit piston; dans des indicateurs plus récents, tel que celui de Richard fort employé actuellement, la course du traceur est amplifiée par rapport à celle du piston, au moyen d'un parallélogramme. Cette disposition, plus compliquée, a pour but de réduire les effets d'inertie, lorsque le piston est brusquement lancé au moment de l'ouverture à l'admission.

Les indicateurs diffèrent surtout par le mode de mouvement du papier sur lequel se trace le diagramme.

Dans l'appareil primitif de Watt, le papier était fixé sur une planchette animée d'un mouvement rectiligne alternatif dans un plan normal à la direction du traceur, ce mouvement étant correspondant à celui du piston de la machine, et déterminé par une combinaison de tringles, levier et cordes. Ce système est très-bon pour des appareils à allure rapide (fig. 1 et 2, pl. 107). Il a du reste été employé par MM. Gouin et Lechatelier dans les expériences faites sur la machine *la Gironde*, au chemin de fer de Versailles et par M. Polonceau au chemin de fer d'Orléans.

Plus tard on a enroulé le papier sur un tambour animé d'un mouvement circulaire alternatif; une corde tirée par le piston de la machine produit la rotation du tambour dans un sens, et un ressort le ramène dans l'autre sens (fig. 8). Ces deux systèmes donnent des courbes fermées, c'est-à-dire, que la partie supérieure forme le diagramme pendant le travail de la vapeur, et la partie inférieure le diagramme pendant l'échappement; de la sorte la surface limitée par le périmètre du diagramme représente réellement le travail effectif de la vapeur.

Ce mode de représentation qui a l'avantage de bien figurer à l'œil le travail développé pendant un tour de l'arbre moteur et qui se prête aux mesures avec la plus grande facilité, a l'inconvénient de ne permettre que le tracé d'un diagramme ou de deux ou trois au plus, sous

Digitized by Google

peine de confusion; il faut donc changer le papier à chaque fois, et cette opération est loin d'être commode sur les locomotives, où l'indicateur étant posé sur les cylindres, l'opérateur est nécessairement placé dans une position excessivement gênante sur le tablier de la machine ou sur la traverse d'avant, ou, dans certains cas, dans une sorte de corbeille qu'on est obligé de suspendre à l'avant des machines.

Pour pouvoir obtenir une série de diagrammes, on a fait mouvoir le papier d'une manière continue; les courbes ne sont plus alors fermées, mais il est facile de les ramener à la forme ordinaire. Le papier peut encore être mû de diverses manières. Dans l'indicateur de Welkner, le tambour qui donne le mouvement rectiligne continu au papier porte une roue à rochet que font tourner toujours dans le même sens des cliquets portés par un levier manœuvré par la tige du piston à vapeur; le mouvement du papier est alors encore ici proportionnel à celui du piston.

M. Gooch, au contraire, dans ses célèbres expériences faites sur la machine *Great-Britain*, faisait commander le tambour moteur du papier par l'essieu même de la machine, de sorte que la longueur de papier développée dans un temps donné était proportionnelle à la vitesse et que par suite la longueur correspondant à chaque course de piston était constante (fig. 3, 4 et 5).

Avec les diagrammes continus, la fin et le commencement de chaque course ne sont pas visiblement limités, et cette indécision est fâcheuse en ce qu'elle ne permet pas d'apprécier l'importance de l'avance ou du retard de la distribution. On a paré à cet inconvénient de diverses manières. Dans l'indicateur de Gooch il y a un traceur spécial qui à chaque fin de course reçoit un mouvement du piston de la machine, et fait sur le diagramme un trait qui coupe la ligne des pressions et délimite la course (fig. 5).

Les traceurs sont dans les indicateurs employés ou des crayons ou des pointes en cuivre qui laissent une marque sur un papier préparé au blanc de zinc.

La grande difficulté dans l'application de l'indicateur aux locomotives est l'installation des transmissions destinées à faire mouvoir le papier. Nous avons proposé une disposition qui convient tout particulièrement pour ce genre de machines.

Le papier continu est mû par un mouvement d'horlogerie, sans aucune relation avec la machine. Les fins de course sont indiquées avec

Digitized by Google

une précision absolue par des étincelles électriques qui jaillissent du traceur même des pressions et qui percent le papier à des points correspondants aux fins de course; cet effet est obtenu de la manière la plus simple au moyen de contacts placés sur la tête de la tige de piston et sur les glissières, de sorte qu'à l'instant même où ces contacts viennent à se toucher, le courant électrique est établi et l'étincelle jaillit. Celle-ci peut sortir aussi bien d'un crayon en mine de plomb que d'une pointe en cuivre.

L'effort sur le piston ne suffit pas pour obtenir le travail, il faut encore la vitesse; celle-ci n'est pas donnée par le diagramme. On doit donc faire une observation spéciale pour les nombres de tours, ce qui est un sérieux inconvénient. Nous y avons remédié au moyen d'un compteur à secondes, qui, à chaque seconde, multiple ou fraction de seconde, suivant les cas, établit un courant électrique et fait jaillir une étincelle d'une pointe fixe destinée à tracer la ligne marquant la pression atmosphérique. Les trous faits par l'étincelle sur cette ligne, rapprochés des courses marquées sur le diagramme, permettent de lire à première vue le nombre des courses effectuées dans l'unité de temps. Le diagramme contient donc tout ce qu'il faut pour avoir la mesure du travail effectué.

Si nous ajoutons que le papier ne se déroule que lorsque l'on veut relever les diagrammes et que sa mise en train peut s'opérer à une distance quelconque au moyen d'un encliquetage électrique, on comprendra que cet appareil, qui n'exige pas auprès de lui la présence de l'opérateur, est extrêmement commode de maniement.

Il est, en ce moment, en expérimentation sur un chemin de fer étranger. La figure 7 représente la forme des diagrammes que l'on obtient avec cet indicateur, et la figure 6, la transformation des diagrammes à mouvement uniformément continu du papier en diagrammes alternatifs.

On s'est beaucoup préoccupé de l'influence de la vitesse de fonctionnement sur l'exactitude des tracés d'indicateur, et on a cherché à échapper à cette influence de diverses manières.

On a commencé par faire des pistons d'indicateur de petit diamètre et de faible masse, en aluminium par exemple. M. Eugène Bourdon, l'éminent mécanicien, avait, il y déjà longtemps, proposé un indicateur à tube cintré, disposé sur le principe de son manomètre métallique. Il a récemment fait un indicateur formé d'un tube tordu en hélice, que la pression intérieure tend à redresser; cet indicateur est en ce moment en expérimentation au chemin de fer d'Orléans.

Digitized by Google

M. Marcel Déprez, de son côté, a réalisé un appareil dans lequel le diagramme se trace par portions successives de faible hauteur, de manière à ne permettre au piston qu'un faible déplacement vertical à chaque course. Cette disposition, excellente pour des machines à travail très-uniforme, nous semble moins convenable pour les machines locomotives où le travail est variable; on peut craindre que le diagramme obtenu, au lieu d'être la courbe *moyenne*, ne représente quelquefois qu'un *composé non défini* d'un certain nombre de coups de piston.

Nous croyons qu'on s'est exagéré l'importance de la déformation des diagrammes. Cette déformation est, en général, accusée par une partie en dent de scie à l'origine de la course, partie qu'il est facile de rectifier. Du reste le relevé simultané fait sur la même machine de diagrammes tracés par un indicateur Bourdon et par un indicateur ordinaire va permettre d'élucider cette question et d'apprécier l'importance pratique de cette cause d'erreur.

Il serait beaucoup plus utile, à notre avis, de se préoccuper des condensations et revaporisations qui se produisent dans le cylindre de l'indicateur, quel que soit son système, comme dans le cylindre à vapeur, lesquelles réduisent la pression pendant l'admission et l'accroissent pendant la détente et l'échappement, si le conduit n'a pas une section suffisante; c'est au cylindre et aux conduits qu'il serait utile d'appliquer les revêtements dont nous parlerons plus loin pour les cylindres des machines.

On doit rappeler ici que l'indicateur, cette balance minuscule qui peut peser des centaines et des milliers de chevaux, ne sert pas seulement à évaluer la puissance des machines; il donne encore des indications précieuses sur la régulation des organes de distribution, et permet, comme nous le verrons plus loin, de se rendre compte de ce qui se passe dans les cylindres. Mais il est juste de dire aussi qu'on ne doit pas lui demander plus qu'il ne peut donner, et que, comme il n'accuse dans le cylindre que la présence de la vapeur proprement dite, il est par cela même incapable de donner *toujours* l'indication exacte de la dépense de vapeur. D'énormes erreurs ont été ainsi commises, lorsqu'on a voulu estimer directement par les diagrammes d'indicateur la consommation des machines.

Digitized by Google

III. — Expériences faites sur les locomotives.

Nous allons passer en revue les principales expériences qui ont été faites sur les locomotives, dans le but d'étudier le travail de la vapeur dans les cylindres et la consommation d'eau correspondant à un travail donné; nous discuterons ensuite ces expériences et nous en tirerons, autant que possible, des conclusions relativement à la manière dont se comporte la vapeur dans les machines qui nous occupent et aux moyens à employer pour en accroître l'utilisation.

Mais, pour qu'on puisse en quelque sorte établir la philosophie de ces expériences et en dégager des conclusions logiques, il est nécessaire de rappeler préalablement certains principes de la théorie de la machine à vapeur; non pas de la *théorie générique*, selon l'expression de M. Hirn, théorie qui raisonne sur des machines non matérielles et qui ne tient aucun compte des faits, mais de la théorie *pratique*, telle qu'elle commence à être admise généralement même dans l'enseignement, bien que dans certaines écoles on continue encore à ne pas lui accorder la plus légère attention.

Si nous considérons un cylindre à vapeur matériel contenant un piston muni d'une tige, tous deux également matériels, au moment où, le piston se trouvant à fin de course, son mouvement en avant va commencer, les surfaces correspondant à l'espace où s'introduit la vapeur pour chasser le piston, sont à une température plus basse que celle de la vapeur qui afflue de la chaudière; de plus, dès que le piston a avancé de plus de longueur que sa propre épaisseur, la vapeur se trouve en contact avec des parois qui ont été refroidies pendant la course précédente; il se condensera donc dès l'ouverture à l'admission, et pendant celle-ci, une quantité de vapeur suffisante pour ramener l'équilibre de température entre les parois du cylindre et la vapeur, et l'eau condensée se déposera sous forme de rosée sur toutes les parois qui correspondent au volume décrit par le piston pendant l'admission. Quand celle-ci cesse, et que la détente commence, le volume augmente et la pression baisse, d'abord par le fait même de l'accroissement de volume, puis par le fait du refroidissement dû au travail lui-même, et enfin parce que la vapeur se trouve à mesure de l'avancement du piston en contact avec des parois refroidies pendant la course précédente. Mais alors l'eau qui figure à l'état de rosée, et qui est à la température ini-

Digitized by Google

tiale de la vapeur, se trouvant en présence d'un milieu à une pression plus basse que celle qui correspond à la température de l'eau, celle-ci se met à bouillir et se vaporise d'abord aux dépens de sa chaleur propre, puis, celle-ci épuisée, aux dépens de la chaleur du cylindre qui se refroidit, la vapeur qui se forme se joint à celle qui existe déjà dans le cylindre pour relever la pression, ce qu'on constate d'une manière très-nette sur les diagrammes où la courbe des pressions est, dans les machines à notable détente sans réchauffement, toujours *surélevée*.

Quand l'échappement commence, la pression baisse encore et l'eau qui n'est pas encore vaporisée passe en vapeur à son tour, mais cette fois sans produire de travail utile, et au contraire en augmentant la contre-pression, et de plus en refroidissant encore le cylindre, qui tombe à la température correspondant à la pression pendant l'échappement. Lorsqu'on introduit de nouveau la vapeur, il se produit une nouvelle condensation pour ramener les parois à la température de la vapeur, et ainsi de suite.

Cette quantité de vapeur qui se condense pendant l'admission doit être ajoutée à la quantité de vapeur que le diagramme indique à l'origine de la détente, pour avoir la dépense réelle. C'est pour cela que le diagramme seul est insuffisant pour donner des renseignements exacts sur la dépense effective. Nous nous bornons à cet exposé très-sommaire pour le moment, nous réservant de traiter plus loin la question d'une manière complète.

Nous ferons remarquer seulement que, dans tout ce qui précède, nous avons toujours employé l'expression générale de parois du cylindre, sans spécifier la nature de ces parois, parce qu'en réalité ce n'est pas seulement la paroi métallique proprement dite qui est en jeu comme on le verra.

Dès l'origine des locomotives, c'est-à-dire, surtout depuis le célèbre concours de Rainhill en 1829, on se préoccupa particulièrement d'élucider les questions de résistance des véhicules. On ne s'occupait pas à cette époque du travail de la vapeur, aussi ne trouve-t-on que peu de choses à cet égard dans les ouvrages de Wood, de Tredgold, etc. Les idées que nous signalions au commencement de ce travail se manifestaient déjà, ainsi que nous lisons dans la *Description de la locomotive de Stephenson*, traduite de l'anglais par M. Mellet en 1839 :

« La force d'une machine locomotive ne peut pas être mesurée aussi exactement et de la même manière que celle des autres machines à vapeur, en

Digitized by Google

évaluant l'effet utile sur le piston et la rapidité de la marche, car il est très-difficile de déterminer la pression effective sur le piston, à cause de la différence quelquefois considérable qui existe entre celle-ci et celle de la chaudière et à cause de la grande résistance de la vapeur de décharge, occasionnée par la rapidité du mouvement du piston. La force est en outre différente à différentes vitesses, puisque ces circonstances varient avec celles-ci. Il n'y a donc, pour évaluer la force d'une locomotive aucun autre moyen rigoureux que de déduire cette force du travail que peut accomplir la machine. »

Nous avons cependant cherché à nous rendre compte, d'après les chiffres d'expériences contenus dans le *Traité des chemins de fer* de Wood, traduit par MM. de Montricher, de Franqueville et de Ruolz en 1836, de ce que pouvait être à l'origine la consommation d'eau des locomotives rapportée à l'unité de puissance.

Il a fallu calculer celle-ci d'après la charge traînée sur niveau à une vitesse connue; les résistances, soit de la voie, soit des machines, devaient être relativement considérables. En faisant le calcul pour les machines la *Rocket* de Stephenson, la *Sans-Pareil* de Hackworth, toutes deux figurant au concours de Rainhill, et les machines plus perfectionnées de Stephenson, *Atlas* et *Vesta*, du chemin de fer de Liverpool à Manchester, on trouve les résultats suivants :

Tableau A.

NOMS des MACHINES.	NOMBRE DE TOURS par minute.	TRACTION à la JANTE.	VITESSE par SECONDE.	TRAVAIL BRUT sur les pistons[1].	CONSOMMATION D'EAU par cheval brut et par heure.
Rocket.....	85	85k.75	6m.27	7ch 15	60lit
Sans-Pareil..	95	99	6 .70	8 .75	65
Atlas.....	56	836k	4 .44	60 .00	22.5
Vesta.....	152	220	12 .11	42 .7	40

1. On a estimé le travail brut sur les pistons à 1,2 du travail net à la jante des roues.

On comprend que les chiffres de consommation d'eau indiqués dans le tableau ci-dessus ne peuvent comporter une grande précision à cause de la difficulté de calculer le travail exactement développé sur les pistons. Ils présentent néanmoins un certain intérêt au point de vue de la comparaison à établir entre ces diverses machines.

Les dépenses d'eau de 60 et 65 kilogrammes par cheval brut et par

Digitized by Google

heure, indiquées pour les deux machines du concours de Rainhill, n'ont rien assurément d'extraordinaire, si on considère que ces machines avaient leurs soupapes de sûreté chargées à 50 livres par pouce carré, soit 3,4 atmosphères effectifs, et qu'à ces faibles pressions, la contre-pression élevée par un échappement probablement très-gêné, devait réduire considérablement la pression moyenne motrice. La concordance des deux chiffres de 60 et 65 litres est en tout cas remarquable.

Ces deux machines marchaient d'ailleurs à un nombre de tours élevé pour l'époque, et l'imperfection de la distribution devait donner lieu à une très-médiocre utilisation.

L'influence de la vitesse est surtout remarquable dans le cas des deux machines *Atlas* et *Vesta*. La première de ces machines avait six roues dont quatre accouplées, et traînait à faible vitesse des trains de marchandises, tandis que la seconde à roues libres faisait un service de voyageurs. Ces machines avaient une distribution assez primitive, mais cependant avec une certaine avance.

Ainsi, dans la première, l'introduction avait lieu pendant 0,93 de la course et l'échappement commençait à 0,96. Dans la machine *Vesta* l'excentrique pouvait varier de position de manière à admettre la vapeur de 0,93 à 0,97 de la course, variation absolument insignifiante, surtout en présence du jeu inévitable des nombreuses articulations qu'on employait alors pour la transmission des tiroirs. Malgré ces raffinements, la machine *Vesta* consommait, en fonctionnant à 152 tours, presque le double de ce que dépensait l'*Atlas* à 56 tours, cela tient évidemment à ce qu'à un grand nombre de tours l'admission était gênée et surtout l'échappement étranglé, circonstances de nature à réduire notablement la pression moyenne effective.

Tout le monde sait qu'une modification plus radicale de la distribution faite sur les locomotives importées d'Angleterre pour les chemins de fer de Versailles et de Saint-Germain, sous la direction de M. Clapeyron, a immédiatement entraîné une économie considérable de vapeur.

Le chiffre de 22,5 kilogrammes indiqué pour la consommation par heure et par cheval brut de la machine *Atlas*, peut sembler bien bas alors que, comme on le verra plus loin, nos machines actuelles dépensent souvent autant ; ce chiffre est cependant très-vraisemblable.

Cette machine introduisait pendant 0,93 de la course ; or pour produire dans ces conditions un cheval brut avec de la vapeur à 5 atmosphères effectifs à la chaudière, il faut dépenser par heure à peu près

Digitized by Google

5,100 litres de vapeur pesant 17k,7; si on ajoute 20 pour cent pour les pertes diverses, l'eau entraînée, etc., on arrivera à très-peu près au chiffre de 22 kilogrammes. Ce résultat tient à ce que dans ces machines fonctionnant à des pressions très-faibles et sans détente sensible, les pertes par condensations intérieures étaient à peu près nulles. Il est assez humiliant, on ne saurait le nier, d'être obligé de constater que nos machines modernes, en apparence si perfectionnées, dépensent quelquefois autant que les machines de Stephenson qui fonctionnaient, il y a quarante ans, sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester.

Nous avons cru intéressant de dresser un tableau des dimensions et résultats correspondant au développement de la puissance dans les quatre types des machines primitives dont il vient d'être question.

Tableau B.

NOM DES MACHINES.	ROCKET.	SANS-PAREIL.	ATLAS.	VESTA.
Nombre de tours par minute.....	85	95	56	152
Vitesse en kilomètres à l'heure...	22k.6	24.2	16	43.6
Rapport des surfaces de chauffe directe et totale.....	1/6.9	1/5.8	1/4.7	1/5.7
Puissance brute sur les pistons....	7ch.15	8.75	60	43
Dépense d'eau par cheval brut et par heure.....	60lit	65	22.5	40
Nombre de chevaux par mètre carré de grille.....	12.8	9.51	70	65
Nombre de chevaux par mètre carré de chauffe.....	0.56	1.05	2.55	1.76
Eau vaporisée par mètre carré de chauffe et par heure.....	33.5	68	51	70

On voit, d'après le tableau ci-dessus, qu'en général la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe était considérable. Cela tient, en faisant la part d'un certain entraînement d'eau, à ce que la surface directe était très-grande par rapport à la surface totale; ce rapport varie, en effet, de $\frac{1}{4.8}$ à $\frac{1}{6}$ tandis que dans les machines actuelles, il est très-rarement de $\frac{1}{10}$ et s'abaisse fréquemment à $\frac{1}{15}$ et même exceptionnellement aux environs de $\frac{1}{20}$. La vaporisation rapportée au kilogramme de combustible est alors un peu moindre parce que les gaz

Digitized by Google

sortent plus chauds; cependant les machines du chemin de Liverpool à Manchester vaporisaient 7.33 d'eau pour 1 de coke.

On voit que, grâce à la valeur plus élevée du rapport des surfaces de chauffe et aussi probablement à la disposition de cette surface formée d'un gros carneau au lieu de petits tubes, les éléments du générateur ont été plus efficaces dans la *Sans-Pareil* que dans la *Rocket*. Somme toute, la première de ces machines était très-remarquable et faisait grand honneur à son constructeur Hackworth, qui avait déjà depuis longtemps travaillé au perfectionnement des locomotives.

Sans une série d'accidents qui vinrent gêner les essais de sa machine, le résultat du concours aurait pu être incertain. Quoi qu'il en soit, le nom de Hackworth mérite d'être rappelé à côté de celui de Stephenson, et on a pu dire, sans trop d'exagération, que si Georges Stephenson était le père des chemins de fer, Timothy Hackworth pouvait être appelé le père des locomotives.

Entre 1834 et 1836, un ingénieur français, le comte G. de Pambour, fit sur les locomotives des chemins de fer de Liverpool à Manchester et de Darlington de nombreuses expériences qui sont relatées dans son *Traité théorique et pratique des machines locomotives*, dont la seconde édition a été publiée en 1840 à Paris. C'est un ouvrage, d'ailleurs, complétement oublié aujourd'hui et qui n'a qu'un intérêt historique. Nous n'y rechercherons que ce qui est relatif à la dépense de vapeur.

En comparant le poids d'eau mesuré dans le tender et introduit dans la chaudière, avec le poids de vapeur calculé au moyen du volume décrit par les pistons se mouvant aux vitesses observées, M. de Pambour trouva invariablement une différence notable toujours trop considérable pour qu'on put l'attribuer à des fuites ou des pertes de vapeur analogues; les refroidissements extérieurs étant sans influence sensible de ce fait que les cylindres, boîtes à tiroirs et conduits de vapeur étaient logés dans les boîtes à fumée.

Cette perte variait de 9 à 32 pour cent du poids total d'eau vaporisée à la chaudière, la moyenne des expériences étant de 24 pour cent. On a fait observer que M. de Pambour ayant à tort supposé la pression de la vapeur égale dans les cylindres et dans la chaudière, le poids de vapeur trouvé par lui dans les cylindres devait être moindre et la perte en réalité plus considérable que celle qu'il avait indiquée. Cette observation est juste en principe, mais nous croyons qu'elle ne doit pas avoir une application trop générale dans le cas particulier dont il s'agit.

Digitized by Google

Les vitesses de marche étaient modérées, et dans ces machines les conduits de vapeur avaient de grandes dimensions ; ainsi on trouve des diamètres de tuyaux de 76 à 95 millimètres, pour des diamètres de cylindres de $0^m,28$ à $0^m,38$ au maximum.

Les auteurs du *Guide du mécanicien*, concluent toutefois, pour la raison indiquée ci-dessus, qu'on peut estimer, que dans les expériences de M. de Pambour, la perte d'eau entraînée et *de vapeur condensée dans les cylindres* s'élevait en moyenne de 30 à 40 pour cent.

Nous venons de souligner les mots *vapeur condensée dans les cylindres*, parce qu'ils appartiennent aux auteurs du *Guide*, et que, dans l'ouvrage de M. de Pambour, il n'est fait aucune allusion à une condensation possible dans les cylindres. L'auteur, en effet, et bien d'autres à sa suite n'hésitèrent pas à attribuer à l'entraînement de l'eau la totalité ou à peu près de la différence dont il s'agit; et, chose étrange, malgré les expériences ultérieures et l'avertissement très-net du *Guide du mécanicien*, nous verrons, trente ans après M. de Pambour, des Ingénieurs distingués tomber dans la même erreur que lui et tirer la même conclusion d'observations imparfaites.

C'est ainsi que les entraînements d'eau de plus de 30 pour cent se sont transmis jusqu'à notre époque et sont encore acceptés sans discussion par bien des gens. Les faits de la pratique sont pourtant en opposition formelle avec ces hypothèses.

Ainsi, les énormes sécheurs installés sur certaines machines du chemin de fer du Nord, sécheurs dont la surface atteignait 1/15e de la surface de chauffe de la chaudière n'ont donné qu'une augmentation de vaporisation insignifiante.

Le 3 avril 1843 M. Combes présenta à l'Académie des sciences une note sur les machines à vapeur; cette note renferme des aperçus fort remarquables sur la manière dont se comporte la vapeur dans les cylindres. On doit dire que cette note avait été suggérée à l'auteur par des constatations faites dans des expériences à l'indicateur effectuées par notre regretté professeur Thomas, sur des machines détendant notablement sans enveloppe de vapeur.

Voici les conclusions de M. Combes : Dans la plupart des machines à vapeur, et probablement dans toutes, une partie de la vapeur admise au cylindre se liquéfie immédiatement par l'action refroidissante des parois du cylindre dont la capacité était quelques instants avant en communication avec le condenseur; il se forme dans le cylindre de

Digitized by Google

l'eau liquide aux dépens de la vapeur admise, indépendamment decelle qui peut être entraînée à l'état globulaire de la chaudière dans le cylindre.

L'eau liquéfiée se vaporise de nouveau pendant la détente, de sorte que de nouvelles quantités de vapeur s'ajoutent pendant cette détente à la vapeur déjà existante; c'est ce qui fait que les tensions diminuent moins rapidement que suivant la raison inverse des volumes.

Dans les machines dont les cylindres sont enveloppés de vapeur et exposés ainsi à une source de chaleur extérieure, la totalité de l'eau liquéfiée est vaporisée de nouveau lorsque le piston arrive à fin de course, pourvu toutefois que l'espace occupé par la vapeur à fin de course soit égal à deux ou trois fois son volume primitif.

M. Combe avait signalé le mode d'action véritable de la vapeur dans les cylindres à détente sans enveloppe, et il est singulier que cette explication si nette développée par l'auteur dans la théorie des machines à vapeur contenue dans son *Traité d'exploitation des mines*, paru en 1845, semble avoir été, pendant tant d'années, presque entièrement méconnue.

En 1843 et 1844, M. Le Chatelier fit des expériences sur la machine *Mulhouse* construite par M. J.-J. Meyer, et munie de la détente variable à double tiroir de ce constructeur. De la comparaison du volume et du poids théorique de vapeur dépensée avec la quantité d'eau consommée. on a déduit que le poids théorique de vapeur dépensée n'était que de 50 à 62 pour cent suivant que la détente était plus ou moins prolongée; la moyenne de la perte étant 32 pour cent. Comme on a négligé la perte de pression entre la chaudière et le cylindre, ces nombres doivent être augmentés en réalité, et il y avait impossibilité absolue de les attribuer à l'entraînement d'eau, d'autant plus que, disent les auteurs du *Guide du mécanicien*, la machine expérimentée était dans des conditions assez favorables pour éviter l'entraînement de l'eau, l'espace conservé pour le réservoir ayant une assez grande hauteur et le dôme de prise de vapeur étant placé vers l'avant. Cette machine fonctionnait avec des admissions minima de 0,20.

MM. Gouin et Le Chatelier firent sur la machine à détente fixe *la Gironde*, construite au Creusot, des expériences au moyen de l'indicateur de Watt. Ce mode d'opérer permettait de connaître plus rigoureusement que dans les expériences précédentes le poids de vapeur admis

Digitized by Google

dans les cylindres. On trouva, en moyenne, une déperdition d'eau de 18 pour cent.

Ce résultat, comparé avec ceux de la machine précédente, si l'on tient compte de ce que les conditions d'entraînement d'eau étaient sensiblement les mêmes, vient incontestablement de ce que la détente était très-peu prolongée.

Les expériences de MM. Bertera et Polonceau établissent encore mieux la relation de la déperdition et de la détente. A 25 pour cent d'admission sur une machine à marchandises du chemin de fer d'Orléans, la déperdition atteignait 52 pour cent en moyenne, tandis que sur une machine à voyageurs de la même ligne travaillant à 35 pour cent d'admission, la moyenne des déperditions était seulement de 42 pour cent.

Cette différence ne peut évidemment pas tenir au plus ou moins d'entraînement. Dans ces expériences le poids de vapeur existant aux cylindres était apprécié d'après les diagrammes d'indicateur.

M. D. Gooch a fait, de 1849 à 1851, des expériences très-importantes sur la machine *Great-Britain* du chemin de fer à large voie du Great-Western, avec application de l'indicateur.

Nous croyons devoir rappeler ici les principales dimensions de ce type célèbre de machine, d'une puissance extraordinaire pour l'époque.

Diamètre des pistons.	$0^{m},457$
Course —	$0^{m},609$
Diamètres des roues motrices.	$2^{m},138$
— des roues de support. . . .	$1^{m},372$
Pression effective.	$6^{atm.},8$
Surface de grille.	1.953
Surface de chauffe du foyer.	14.229
— des tubes.	167.40
— totale.	181.63
Nombre de tubes.	305
Poids en service.	36,000 kilogrammes.
— adhérent.	12,500 —

A la vitesse de 97 kilomètres à l'heure (60 milles anglais), correspondant à 210 tours de roues par minute, cette machine a vaporisé 8,500 litres à l'heure, soit 47 litres par mètre carré de surface de chauffe et par heure; M. Gooch estimait la puissance possible de vaporisation à un taux encore plus élevé, correspondant à 55 kilogrammes par mètre carré et par heure.

Digitized by Google

Dans les expériences de M. Gooch sur la machine *Great-Britain*, expériences relatées très au long dans le grand ouvrage de M. D.-K. Clark, *Railway-Machinery*, auquel nous empruntons ce qui suit, on relevait des diagrammes d'indicateur à des intervalles réguliers, généralement d'un mille (1,609 mètres); comme on connaissait, pour chaque cran du secteur, les points où commençait la détente, l'échappement, la compression, etc., on pouvait déduire des diagrammes le poids de vapeur admis au cylindre.

Les expériences dont nous nous occupons ont été faites en deux séries; dans la première, le recouvrement extérieur des tiroirs était de $0^m,0253$, le recouvrement intérieur de 1 millimètre 1/2; pour la seconde série d'expériences, le recouvrement extérieur fut porté à 0,0293, le recouvrement intérieur n'étant pas altéré, cette modification ayant pour but de réduire la longueur de l'admission de la vapeur. Dans ces conditions, on fit un grand nombre de relevés de diagrammes à différentes vitesses et à trois crans successifs du secteur. Le tableau ci-dessous indique les dépenses de vapeur *apparente* au cylindre, d'après l'introduction, pour un cheval brut de puissance développé sur les pistons, la dépense étant composée du poids de vapeur existant au cylindre au commencement de la détente, espace neutre compris, diminué du poids de vapeur existant au commencement de la compression, espace neutre compris également. Dans ces expériences, on a été plus loin, on ne s'est pas borné à considérer le poids de vapeur existant au commencement de la détente, on a encore considéré le poids de vapeur existant à la fin de celle-ci, c'est-à-dire au moment où l'échappement va s'ouvrir; c'est ce que les auteurs anglais appellent *équivalents d'eau initial et final;* la comparaison de ces deux équivalents est très-instructive au point de vue de la loi de la détente pratique dans les cylindres. On a inscrit dans chaque ligne correspondante, à une certaine admission, le rapport de ces équivalents estimé en fractions de l'équivalent initial, avec le sens de la valeur de ce rapport, sens positif ou négatif suivant les cas. Rappelons ici que la machine expérimentée avait ses cylindres intérieurs et logés dans la boîte à fumée, baignés par conséquent par les gaz chauds sortant des tubes. Il ne paraît pas avoir été fait de mesure directe de l'eau consommée.

Digitized by Google

Tableau C.

SÉRIE.	CRAN du SECTEUR de détente.	ADMISSION en centièmes de la course.	NOMBRE de tours par minute.	DÉPENSE *apparente* d'eau par cheval brut et par heure (poids initial[1]).	RAPPORT des équivalents d'eau initial et final rapportés à l'équivalent initial
				kg.	0/0
1	1	0,736	38.5 à 192.5	15 960	— 1.2
1	3	0,593	38.5 à 220.4	12.786	— 1.1
1	5	0,400	38.5 à 196.7	10.473	+ 3.3
2	1	0,666	52.5 à 189.0	12.833	— 3
2	3	0,471	59.5 à 192.5	11.476	— 5.4
2	5	0,292	59.5 à 196.0	9.113	— 2.3

1. Les chiffres de la 5e colonne sont chacun la moyenne de 8 ou 10 expériences faites avec chaque cran de détente, à des nombres de tours différents, variant entre les limites indiquées dans la colonne 4.

Les chiffres de la colonne 5 du tableau précédent, c'est-à-dire les dépenses *apparentes* de vapeur par heure et par cheval brut, ne présentent pas par elles-mêmes un intérêt direct, puisque pour arriver à la dépense pratique en eau d'alimentation, il faut passer par un coefficient dont la valeur nous est inconnue à priori. L'examen des chiffres de la colonne 6 nous révèle, au contraire, un fait intéressant, c'est qu'il n'y a pas eu *en général* revaporisation pendant la détente; au contraire, il y a eu condensation, puisque l'équivalent final est moindre que l'équivalent initial; nous disons en général parce que, au contraire, la moyenne des expériences au cran 5 de la seconde série a montré une revaporisation assez notable pendant la détente, puisque l'équivalent final a donné 3,3 pour cent de vapeur de plus à la fin de la détente qu'au commencement. Il y a là une anomalie impossible à expliquer; l'ensemble des résultats ne montre d'ailleurs pas de relation bien définie entre eux.

On a invoqué l'influence de la position des cylindres dans la boîte à fumée pour expliquer l'absence de revaporisation pendant la détente; il y aurait à discuter cette influence, ce que nous ferons plus loin, mais cela n'expliquerait pas pourquoi, à une admission de 4/10, il y a eu revaporisation notable, et qu'il y a eu au contraire condensation à 3/10. M. Gooch a conclu également que la vitesse de fonctionnement était sans influence sensible sur les résultats obtenus. Il ne faut pas oublier

Digitized by Google

que dans la machine expérimentée les dimensions de passages, tuyaux, etc., étaient relativement considérables.

On peut dire que les expériences de M. Gooch sont malheureusement de peu d'utilité à cause de l'omission de l'observation des éléments les plus importants, tels que les poids d'eau réellement dépensée, les pressions, etc. Ces expériences incomplètes ont conduit leur auteur à des conclusions erronées au sujet de la dépense de vapeur par cheval; il avait, d'après ses diagrammes, cru pouvoir avancer que cette dépense était descendue à 19 livres ou 8ᵏ,60 par cheval indiqué; ces chiffres, dont l'impossibilité est bien facile à reconnaître, ont contribué à accréditer des idées très-inexactes sur cette question.

M. D.-K. Clark, auteur du célèbre ouvrage dont il a déjà été question, a fait de nombreuses expériences qui ont fait encore avancer la question. Ces expériences ont été faites particulièrement sur les machines du *Caledonian*, *Greenock*, *Edinburgh and Glascow Railway*, en 1850.

On eut soin de mesurer les quantités d'eau vaporisées. De la comparaison de ces quantités avec les poids de vapeur présents aux cylindres, on déduisait la déperdition d'eau. M. Clark a cherché à établir la répartition entre la déperdition par entraînement et la déperdition par condensation dans les cylindres, et il s'est servi pour y arriver de considérations qui nous semblent prêter le flanc à la critique. Il paraît être parti d'un point de départ suggéré probablement par les expériences précédentes, c'est-à-dire que dans les cylindres plongés dans les gaz chauds il n'y a pas de condensation, tout au moins pour des expansions modérées.

Sur les diagrammes d'indicateur obtenus sur les machines, on relevait les équivalents d'eau final et initial, et on établissait la différence de ces quantités rapportée à l'équivalent initial, comme on l'a fait pour la machine précédente; et on a cherché à établir une relation entre cette différence et l'expansion à laquelle la vapeur était soumise dans les cylindres.

Voici un tableau qui donne cette relation d'après les moyennes déduites d'un grand nombre d'expériences, soit pour les cylindres extérieurs, soit pour les cylindres intérieurs.

On a indiqué l'admission *apparente* en fonction de la course et en même temps l'expansion *réelle* correspondante, c'est-à-dire le volume final occupé par la vapeur à la fin de la détente, espaces neutres com-

Digitized by Google

pris, le volume initial, espaces neutres compris également, étant pris pour unité.

Tableau D.

ADMISSION EN FRACTION de la course.	EXPANSION RÉELLE de la vapeur.	RAPPORT DES ÉQUIVALENTS D'EAU FINAL ET INITIAL rapporté à l'équivalent initial.	
		Cylindres extérieurs.	Cylindres intérieurs.
0,525	1.50	— 1.25	— 3
0,50	1.53	0	»
0,325	2.00	+ 17.84	0
0,19	2.50	+ 36.25	+ 3
0,13	3.00	+ 55.00	+ 6
»	3.50	+ 73.75	»
»	4.00	+ 92.5	»

Si l'on fait un tracé graphique en prenant pour abscisses les expansions et pour ordonnées les différences des équivalents contenues dans les deux dernières colonnes du tableau précédent, on trouve (fig. 9) que les sommets de ces ordonnées se trouvent sur une ligne droite très-inclinée pour les cylindres extérieurs et beaucoup plus rapprochée de l'horizontale pour les cylindres intérieurs. Au moyen de ces lignes, M. Clark a formé un autre tableau donnant les différences rapportées à des admissions apparentes régulièrement espacées pour les cylindres extérieurs.

Tableau E.

ADMISSION EN FRACTION de la course.	EXPANSION RÉELLE.	DIFFÉRENCE des ÉQUIVALENTS D'EAU rapportée à l'équivalent initial.	ÉQUIVALENT FINAL / ÉQUIVALENT INITIAL.
0,735	1.22	— 12	0.88
0,60	1.40	— 5	0.95
0,50	1.54	0	0
0,40	1.48	+ 9.4	1.094
0,30	2.07	+ 19.9	1.199
0,20	2.45	+ 34.1	1.341
0,12	3.17	+ 61.1	1.611

Maintenant, de ce que pour une admission de 0,735 on constate une

Digitized by Google

condensation égale à 12 pour cent, produite pendant la détente, considérant comme probable qu'il y a eu au moins autant de perte par condensation pendant l'admission, alors que le cylindre était au moins aussi froid, et que, s'il y a 12 pour cent de perte par condensation pour une admission aussi longue, il y en aura au moins autant pour des admissions moindres, M. Clark adopte d'une manière générale une perte de 12 pour cent par condensation dans les cylindres non protégés, pour toutes les admissions comprises entre la course entière et la moitié de la course.

Il est bien entendu, d'ailleurs, que la valeur zéro attribuée pour l'admission à 50 pour cent signifie tout simplement que la vapeur condensée pendant la première partie de la détente est revaporisée pendant la suite et ne donne aucune indication pour la quantité qui a pu se condenser pendant l'admission. Les mêmes considérations montrent que, pour des admissions plus courtes, les pertes indiquées par l'excès de vapeur accusé à la fin de la détente par le diagramme sont moindres que la perte totale, et alors pour arriver à une valeur approximative de la perte totale par condensation, on ajoute 12 pour cent à toutes les pertes indiquées pour les admissions au-dessous de 50 pour cent.

On arrive ainsi aux valeurs suivantes :

Tableau F.

ADMISSION.	CONDENSATION CONSTANTE.	VAPEUR CONDENSÉE en parties de la vapeur indiquée.	VAPEUR CONDENSÉE en parties de la vapeur totale.
0,735	12	12	10.7
0,60	12	12	10.7
0,50	12	12	10.7
0,40	12	21.4	18.0
0,30	12	31.9	24.2
0,20	12	46.1	31.6
0,12	12	73.1	42.2

M. Clark a appliqué ce mode d'opérer à un grand nombre de locomotives; nous nous bornerons, pour achever l'exposé de sa méthode, à donner les résultats trouvés pour la machine n° 42 du *Caledonian Railway*, faisant le service de trains express.

Digitized by Google

Tableau G.

Numéros des SECTIONS.	ADMISSION.	Vapeur condensée en parties de la vapeur indiquée.	Vapeur condensée en parties de la vapeur totale.	EAU entraînée.	Perte totale en parties de l'eau mesurée.
1	0,45	16.5	14	0	14
2	0,54	12	10	0	10
3	0,50	12	10	5.4	15.4
4	0,40	21	16.5	5	21.5
Trajet total.	0,45	16.5	13	3.2	16.2

Comme on le voit par l'examen du tableau précédent, la comparaison de la perte totale par condensation, appréciée comme il a été expliqué, avec le poids d'eau mesuré au tender, en tenant compte de la vapeur présente au cylindre, conduit à conclure en apparence, dans certains cas, à un entraînement d'eau égal à zéro; mais il ne faut pas aller si loin, parce qu'une partie de l'excès de vapeur trouvé au cylindre à la fin de la détente (partie minime, il est vrai) peut provenir de la présence de l'eau entraînée mécaniquement. Nous ne suivrons pas M. Clark dans ses appréciations sur l'évaluation de la proportion d'eau entraînée. Nous nous contenterons de donner les principales conclusions auxquelles l'ont conduit les expériences précédentes.

1° Quand la vapeur est admise au cylindre, il y a une condensation plus ou moins considérable pendant l'admission, et cette condensation se continue en partie pendant l'expansion; la chaleur qui en provient est absorbée par les parois du cylindre et les réchauffe. Une partie de cette chaleur est perdue, mais une partie demeure emmagasinée et est ensuite absorbée par la vapeur précipitée pendant l'expansion si celle-ci est prolongée suffisamment, c'est-à-dire jusqu'à ce que la température tombe au-dessous de celle du cylindre.

2° Il s'en suit que le poids de vapeur existant au cylindre au moment de la fermeture de l'admission est moindre que celui qui existe à l'ouverture à l'échappement, si l'expansion est considérable.

3° L'inégalité de ces poids de vapeur ne paraît pas être influencée par la vitesse de fonctionnement.

4° L'eau condensée pendant l'admission ne se revaporise pas tout

Digitized by Google

entière ; la quantité de vapeur réellement entrée au cylindre est donc supérieure à celle que dénote le diagramme d'indicateur.

5° Pour prévenir la condensation à l'intérieur des cylindres, il ne suffit pas de protéger ceux-ci par des matières isolantes; il faut chercher à les maintenir par des moyens extérieurs à la température initiale de la vapeur.

6° Les pertes par condensation sont tellement importantes avec les cylindres extérieurs, qu'on doit considérer les introductions inférieures à 30 centièmes de la course comme tout à fait défavorables à l'économie de vapeur.

On contestait déjà à cette époque l'utilité de la détente variable, et des ingénieurs de chemins de fer considéraient comme suffisants les systèmes de changement de marche à fourchettes, dits *gab-motion*, donnant une détente fixe; on sait que les machines du type Buddicom ont conservé ce genre de distribution jusqu'à une époque qui n'est pas éloignée de nous. Notre collègue, M. Jules Morandiere, nous a même affirmé qu'on pouvait encore aujourd'hui en rencontrer quelques spécimens au chemin de fer de l'Ouest.

On trouvera peut-être que nous avons exposé très-longuement la méthode de Clark pour l'appréciation de la dépense de vapeur. Ce n'est pas que cette méthode nous paraisse irréprochable de tous points, et que nous acceptions sans réserve toutes les conclusions qui en sont déduites, et sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Mais, à notre connaissance du moins, c'est dans le grand ouvrage (*Railway Machinery*) de l'ingénieur anglais, et auparavant dans ses communications faites devant l'*Institution of Mechanical Engineers*, qu'a été pour la première fois élucidée aussi complétement la manière dont la vapeur se comporte dans les cylindres des machines locomotives et le rôle de la condensation de la vapeur pendant l'admission, ce phénomène caractéristique qui donne la clef de la différence qui existe toujours entre les dépenses pratiques des machines et les consommations calculées, et dont, chose bien curieuse, des Ingénieurs, d'ailleurs fort distingués, croient de très-bonne foi pouvoir encore contester la réalité douze ou quinze ans après la publication de l'ouvrage déjà cité, et vingt ou vingt-cinq ans après la publication de la note de M. Combes.

Peu de temps après les expériences dont nous venons de parler, M. Polonceau fit, au chemin de fer d'Orléans, des expériences à l'indi-

Digitized by Google

cateur sur divers types de machines. Le papier de l'indicateur était fixé sur une planchette guidée dans des coulisses et recevant un mouvement rectiligne alternatif proportionnel au mouvement du piston, au moyen d'une tringle et d'un levier à bras inégaux (fig. 1).

Les machines expérimentées étaient les suivantes :

1° Machine à voyageurs, n° 94 ;

2° Machine à voyageurs, n° 93, avec cylindres à enveloppe de vapeur ;

3° Machine à marchandises, n° 404, tiroirs d'échappement indépendants des tiroirs d'introduction ;

4° Machine à marchandises, n° 736 ;

5° Machine express, n° 268.

Les résultats de ces essais n'ont pas été livrés à la publicité ; ils sont consignés dans un mémoire autographié reproduisant tous les diagrammes d'indicateur, et dont nous devons la communication à l'obligeance de M. Couche, inspecteur général des mines. Les diagrammes étaient relevés à diverses introductions (descendant dans certains cas à 0,16 ou 0,18 de la course) et à plusieurs vitesses de piston pour chaque introduction ; ces vitesses variant de $1^m,40$ à $2^m,80$ et $3^m,20$.

De nombreux tableaux donnent les relations constatées entre les éléments du développement de la puissance, par exemple, le rapport entre la pression moyenne pendant l'admission et la pression à la chaudière, celui entre le travail pendant l'admission et le travail total, le travail pendant la détente et le travail total, le travail perdu par la compression, par l'échappement anticipé et le travail total, etc.

Ces points sont certainement fort intéressants, mais ils n'ont pas de rapport immédiat avec le sujet qui nous occupe. Nous avons dû nous préoccuper de relever sur les diagrammes les équivalents final et initial de vapeur, comme l'avait fait M. Clark.

On trouve toujours les divers résultats généraux, c'est-à-dire différence négative pour les faibles expansions, et différence positive de plus en plus grande à mesure que les expansions augmentent, autant d'ailleurs qu'on peut le constater, car les admissions sont presque toujours inférieures à la moitié de la course.

Cependant on trouve de temps en temps des anomalies dues soit à des causes accidentelles (erreurs de diagramme ou autres) ou peut-être à une certaine influence de la pression ou de la vitesse. Voici, par

Digitized by Google

exemple, un tableau formé avec les éléments relevés à différentes introductions sur la machine express, n° 268 :

Tableau H.

NUMÉROS des diagrammes.	ADMISSION.	EXPANSION réelle.	NOMBRE de tours.	PRESSION à la chaudière.	DIFFÉRENCE des équivalents rapportée à l'équivalent initial.
44	0,42	1.80	109	7atm	7.1
36	0,33	2.12	109	8	13.9
20	0,24	2.58	109	6.5	11.2
31	0,24	2.58	80	7	13.5
3	0,18	3.01	109	8	33.1

Si on fait (fig. 9) un essai de représentation graphique des différences d'équivalents en fonction de l'équivalent initial rapportées aux expansions, on trouve que, sauf deux, les points obtenus se trouvent comme dans les résultats de M. Clark sur une droite, mais elle est moins relevée que celle de l'auteur anglais, et elle coupe l'axe des abscisses à un point correspondant à une expansion de 1,50, c'est-à-dire à très-peu près au même point que l'autre, il y a, comme on voit, deux points très en dehors de la ligne; mais, ces deux points correspondant à la même expansion, il y a là une anomalie évidente.

Nous ne nous appesantirons pas davantage sur ces expériences, sur lesquelles nous reviendrons plus loin, et auxquelles il manque d'ailleurs un élément important, la mesure directe de l'eau dépensée.

Nous n'avons pas de documents sur des expériences plus récentes faites en France.

Il est à regretter que dans les célèbres expériences faites au chemin de fer de l'Est par MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, expériences consignées dans un mémoire qui a valu aux auteurs la médaille d'or de la Société, il n'ait pas été fait usage de l'indicateur. La question de l'utilisation de la vapeur n'y est, du reste, traitée que très-accessoirement, et nous oserons ajouter très-incomplétement.

Ainsi nous lisons dans les mémoires et compte rendu de la Société, 1867, p. 778 :

« *Eau entraînée par la vapeur et perdue par les fuites.* — Si l'on compare la consommation réelle d'eau mesurée au tender à la consommation théo-

Digitized by Google

rique, calculée d'après le volume décrit par les pistons pendant la durée de l'admission, on trouve que la première est beaucoup plus grande que la seconde. Cela tient à ce qu'il y a entraînement d'une grande quantité d'eau non vaporisée et des pertes diverses.

« Ici une note ainsi conçue : « Ces pertes proviennent des fuites et aussi « du volume de l'espace nuisible qui n'a pas été compris dans le calcul de « la consommation théorique. »

« En faisant les calculs, nous avons trouvé que les pertes et les entraînements d'eau correspondaient aux fractions suivantes de la consommation totale :

« Train 1 68 du 21 juin 1864, 30 pour 100.
— 1 76 du 6 juillet, 24 pour 100.
— 1 68 du 8 juillet, 31 pour 100.
— 2 65 du 21 juillet 1865, 39 pour 100.

« Concluons de ces quatre exemples qu'en moyenne pour les machines du type 20, travaillant au voisinage du maximum de traction, la consommation d'eau non utilisée a atteint 31 pour 100 de la consommation totale.

« Ce chiffre s'applique à des machines en bon état et bien conduites. Il est évident qu'il faut s'opposer le plus possible aux fuites. Mais faut-il s'attacher à sécher la vapeur? »

On voit qu'il n'est pas dans tout ceci fait la plus légère allusion à une condensation possible de la vapeur dans les cylindres, et cela dix ou douze ans après la publication de l'ouvrage de Clark, et vingt-trois ans après la note de M. Combes.

On peut faire ici, du reste, l'observation que nous avons faite au sujet des expériences de Pambour, c'est qu'on a pris, pour calculer la consommation théorique, la pression à la chaudière. Or, si on remarque qu'à la fermeture la pression est moindre, non-seulement parce que la pression à l'entrée au cylindre est déjà moindre qu'à la chaudière, mais que, de plus, il y a en général une nouvelle réduction due à l'étranglement des lumières et à la vitesse du piston, on sera conduit à une consommation théorique qui pourra n'être, par exemple, que les 0,80 de la consommation théorique supposée; la perte trouvée de 31 pour cent deviendrait alors $100 - (0{,}69 \times 0{,}80) = 47$ pour cent, et la perte de 39 p. cent indiquée ci-dessus deviendrait $100 - (0{,}61 \times 0{,}80) = 51$ pour cent.

L'exagération même de ces chiffres fait voir qu'il y a autre chose qu'un entraînement d'eau ou des fuites ordinaires.

Du reste, en examinant les consommations d'eau par cheval et par heure, déduites des éléments renfermés dans les tableaux annexés au

Digitized by Google

Mémoire des Ingénieurs de l'Est, et en prenant les diverses consommations de la même machine à des vitesses peu différentes, on sera frappé de ce fait, c'est qu'à quelques exceptions près, la dépense maximum correspond au moindre travail produit.

Or, à moins de supposer que les pressions à la chaudière fussent très-différentes, on est bien obligé d'admettre qu'à vitesse égale, le travail le plus réduit correspondait à la plus grande détente, il en résulte donc que la dépense d'eau par cheval et par heure a été d'autant plus grande que la machine détendait davantage.

L'entraînement d'eau ne devait pas augmenter sur la même machine, il aurait plutôt diminué, il faut donc chercher autre chose que cet entraînement d'eau ou les fuites, et ce quelque chose nous savons actuellement où le trouver.

Tableau I.

DÉSIGNATION.	VITESSE à l'heure.	TRAVAIL en chevaux.	DÉPENSE D'EAU par cheval et par heure.
	kilom.	chev.	k.
Crampton.....	73	247	16.06
Id.....	71	201	18.46
Mixte 7.....	50	169	19.00
Id.....	51	130	25.00
Mixte 12.....	44	168	20.24
Id.....	46	132	21.62
Id.....	51	151	21.93
Id.....	57	131	29.07
Mixte 14.....	49	180	17.15
Id.....	45	144	18.45
Id.....	47	131	21.15
Id.....	45	103	25.20

Il est juste de dire que pour les machines à marchandises le fait ressort d'une manière moins nette, surtout pour les machines à huit roues couplées, néammoins la plus grosse consommation correspond toujours au moindre travail réalisé, même pour ces dernières machines.

M. V. Grimburg, ingénieur au chemin de fer de l'État autrichien, a fait, en 1860 à Temesvar, des expériences sur la machine locomotive *Leopoldstadt* dans des conditions particulières qu'il est intéressant de décrire.

Digitized by Google

La machine était calée sur des chantiers et les roues actionnées par les bielles motrices pressées par des sabots de frein destinés à absorber le travail développé par les pistons. On mesurait à l'indicateur ce dernier travail et on avait eu l'intention de mesurer le travail développé à la circonférence des roues en évaluant, à l'aide d'une romaine, la pression du frein agissant à la manière du frein de Prony. Cette dernière partie du programme n'a pu être remplie ; les expériences ont d'ailleurs présenté des anomalies, et nous renverrons pour ce qui les concerne au dernier fascicule de l'ouvrage de M. Couche : *Voie et Matériel roulant des chemins de fer*, pour arriver de suite à la série la plus importante d'expériences exécutées sur les machines locomotives.

En 1867, M. Bauschinger, professeur au Real-Gymnasium de Munich, a fait avec le concours de M. Zorn, Ingénieur du matériel à Augsbourg, des expériences très-complètes sur des locomotives des chemins de fer de l'État bavarois.

Ces machines étaient au nombre de 8, savoir :

A *Ampfing*, machine à 4 roues couplées. . . .	Détente par la coulisse.
B *Neue Ampfing*, machine à 4 roues couplées. .	
C *Lichtenfels*, machine à roues libres.	
D *Walchensee*, machine à 6 roues couplées. . .	
E *Kufstein*, machine à roues libres.	Détente Meyer.
F *Otto von Guerike*, machine à roues libres. . .	
G *Wassertrudingen*, machine à 4 roues couplées.	
H *Immenstadt*, machine à 4 roues couplées. . .	

Les dimensions principales de ces machines sont données dans le tableau J.

Digitized by Google

Tableau J.

Dimensions principales des Machines-Locomotives, expérimentées par M. Bauschinger.

CLASSE DE MACHINES.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.
Proportion des roues motrices.....	4 sur 6	4 sur 6	2 sur 6	6 sur 6	2 sur 6	2 sur 6	4 sur 6	4 sur 6
Diamètre de ces roues.....	1.575	1.575	1.524	1.220	1.675	1.524	1.448	1.347
Diamètre des cylindres.....	0,406	0,406	0,330	0,457	0,381	0,311	0,406	0,381
Course des pistons.....	0,610	0,610	0,559	0,669	0,559	0,508	0,610	0,610
Surface de grille.....	1.109	1.109	0.827	1.488	1.023	0.883	1.255	1.051
Surface de chauffe.....	95.32	95.32	63.33	100.35	68.08	46.87	82.30	66.49
Rapport de la surface directe à la surface des tubes.....	$\frac{1}{11.8}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{10}$
Poids en service.....	29.5	29.5	20	34	22	16	30	26
Distribution.....	Stephenson.	Stephenson.	Stephenson.	Stephenson.	Meyer.	Meyer.	Meyer.	Meyer.
Système de tiroir.....	Trick.	Trick.	Ordinaire.	Ordinaire.	Id.	Id.	Id.	Id.
Poids du tender chargé.....	19.8	19.8	13.2	20,2	15	10	15	10

Digitized by Google

On s'était proposé, entre autres questions, de comparer ces deux modes de distribution, et nous verrons plus loin quel a été le résultat à ce point de vue.

Les diagrammes étaient relevés sur les cylindres au moyen de l'indicateur Richard, et l'eau dépensée était mesurée dans le tender. Il n'a pas été fait de relevés dynamométriques.

Il a été relevé un très-grand nombre de diagrammes dans des conditions diverses d'introduction, de pression et de vitesse; ces diagrammes ont été soumis au calcul d'une manière très-complète, et les résultats ont pu être comparés avec les autres éléments obtenus par mesure directe.

Le fait de la relation entre la condensation pendant l'admission et l'expansion ressort avec la plus grande évidence, bien qu'on rencontre toujours quelques anomalies. Ces anomalies s'expliquent naturellement par la difficulté de relever les diagrammes sur les machines locomotives et les erreurs qui peuvent, soit provenir de cette cause, soit se glisser dans la mesure des aires des diagrammes ou dans les calculs très-laborieux nécessaires pour obtenir ces chiffres.

Dans les expériences dont nous parlons, l'expansion réelle (espaces neutres compris) a varié de 1,88 à 5; les nombres de tours par minute de 79 à 180, et les pressions à la chaudière de 6 à 8,5 atmosphères absolus.

Nous n'examinerons ici que les résultats donnés par les machines à distribution par la coulisse ordinaire.

Voici d'abord la différence des équivalents d'eau initial et final rapportée comme précédemment à l'équivalent d'eau initial; il n'y a malheureusement pas d'expansions assez faibles pour constater la valeur négative de cette différence: elle a dans tous les diagrammes été positive.

Comme on connaît le volume d'eau dépensé par mesure directe, on a la dépense d'eau réelle par cheval et par heure et on la rapproche de la dépense calculée au commencement et à la fin de la détente (on a eu soin, bien entendu, dans ces dépenses calculées, de tenir compte de la quantité de vapeur existant au cylindre au commencement de la compression, quantité qui, restant dans le cylindre, vient diminuer la dépense).

Digitized by Google

Les données numériques sont contenues dans le tableau général des résultats [1].

Tableau L.

DÉSIGNATION	CRAN du secteur.	ADMISSION apparente.	RAPPORT des volumes.	RAPPORT des pressions.	RAPPORT des précédents.
A.....	1	0,16	0,26	0,42	1,61
	2	0,23	0,33	0,46	1,39
	3	0,32	0,40	0,52	1,30
	4	0,38	0,52	0,57	1,10
	5	0,47	0,59	0,62	1,05
B.....	1	0,19	0,37	0,48	1,30
	2	0,26	0,43	0,53	1,23
	3	0,34	0,49	0,58	1,18
	4	0,44	0,58	0,64	1,10
C.....	3	0,36	0,50	0,55	1,10
	4	0,42	0,54	0,63	1,16
	5	0,49	0,59	0,63	1,07

Tableau M.

EXPANSION.	ADMISSION.	G.	H.	$\frac{G}{H}$.
3.85	0,16	0,26	0,19	1.53
3.00	0,23	0,42	0,33	1.27
2.50	0,32	0,50	0,42	1.19
1.92	0,38	0,60	0,57	1.05
1.69	0,47	0,64	0,63	1.02
1.50	0,55	0,69	0,68	1.01
1.22	0,61	0,73	0,72	1.01

G Rapport de la pression moyenne réelle mesurée à l'indicateur à la pression moyenne pendant l'admission.

H. Rapport de la pression moyenne calculée d'après la loi de Mariotte à la pression moyenne pendant l'admission.

Pour montrer d'une manière plus sensible combien, à mesure que l'expansion augmente, la courbe des pressions s'élève au-dessus de la courbe représentant la loi inverse des volumes, dite loi de Mariotte, qu'on cite toujours à propos de la détente, bien qu'on ne voie pas quel

1. Voir à la fin le tableau K.

Digitized by Google

rapport immédiat elle peut avoir avec des vapeurs dont la température varie avec la pression, on a indiqué dans les tableaux L et M le rapport des pressions à la fin de la détente et au commencement de la détente, comparé avec l'expansion réelle, c'est-à-dire, le rapport des volumes.

On voit que pour des expansions correspondant à des admissions réelles de 0,61, la différence est peu sensible, puisque le rapport est sensiblement égal à 1, tandis que, pour des admissions réduites à 0,16, le rapport des pressions est de 1,53.

On a représenté sur la figure 10 la variation de ces quantités par rapport à l'admission pour les types de machines A, B et C.

Chaque rapport a été donné par la moyenne d'un certain nombre de diagrammes, nombre généralement considérable, 12 ou 15.

Les expériences dont il s'agit, malgré quelques anomalies difficiles à éviter en pareil cas, mettent en évidence de la manière la plus complète l'accroissement de l'équivalent d'eau final avec l'expansion, accroissement constaté par Clark. Mais de plus M. Bauschinger a donné dans les tableaux nombreux qui résument ses expériences les consommations d'eau pour l'unité de puissance, le cheval indiqué et démontré d'une façon tangible, combien les avantages théoriques de la détente sont réduits en pratique.

Nous reviendrons plus tard sur ce point lorsque nous chercherons à déterminer la consommation de vapeur des machines locomotives.

Le tableau K contient, d'ailleurs, tous les éléments de la question.

Nous terminerons l'examen des principales expériences faites en vue de rechercher le mode d'action de la vapeur dans les machines locomotives en citant des expériences relatées par M. Fréd. J. Slade, faites sur des machines du chemin de l'Érié (Voir *Engineering*, 1er semestre, 1871).

Les expériences ont consisté en des relevés à l'indicateur sur cinq machines, dont quatre à cylindres *intérieurs* (variété fort rare aux États-Unis) de $0^m,45$ de diamètre, $0^m,500$ de course, et une à cylindres extérieurs de $0^m,45$ de diamètre, sur $0^m,55$ de course, le n° 246.

Le tableau N donne la proportion de l'accroissement de la pression finale rapportée à l'expansion totale et réelle de la vapeur, cette expansion étant d'ailleurs contenue dans des limites peu étendues, suivant

Digitized by Google

la pratique américaine, tout au moins en ce qui concerne les locomotives.

Tableau N.

NUMÉROS DES MACHINES.	NOMBRE DE TOURS.	ADMISSION EN CENTIÈMES.	EXPANSION RÉELLE.	ACCROISSEMENT proportionnel de la pression finale.
204	240	0,35	2,60	+ 13,1
155	36	0,40	2,25	+ 2,7
205	90	0,42	2,14	+ 10,0
203	210	0,42	2,14	+ 15,0
204	40	0,45	2,00	+ 3,9
155	84	0,50	1,80	+ 0,8
204	160	0,50	1,80	+ 6,1
203	168	0,50	1,80	+ 5,6
155	148	0,50	1,80	+ 6,2
155	52	0,52	1,70	+ 5,6
155	77	0,55	1,60	+ 1,6
203	122	0,55	1,60	+ 5,1
246	75	0,55	1,60	0
155	72	0,60	1,50	0
155	74	0,60	1,50	— 1,9
155	36	0,66	1,40	— 1,9
246	30	0,77	1,20	— 5

On voit que, malgré quelques anomalies, qu'on constate toujours dans les expériences de cette nature, la tendance de la différence des pressions à croître avec l'expansion est parfaitement nette; la différence est nulle pour une expansion de 1.5 à 1.6; on se rappelle que Clark trouvait 1.54, mais l'inclinaison de la ligne représentative est moindre; car pour une expansion de 2.6 on a + 13.1, tandis que Clark donne pour 2.5 + 36.25 avec les cylindres extérieurs, et + 3 avec les cylindres intérieurs; sous ce rapport les chiffres de M. Slade se rapprocheraient davantage des résultats de Polonceau et de Bauschinger.

Les expériences dont nous venons de parler ne donnent, d'ailleurs, aucun autre renseignement que celui de ces différences proportionnelles déduites des diagrammes d'indicateur. Nous ne les mentionnons que pour confirmer la concordance très-satisfaisante de toutes les expériences de ce genre.

Digitized by Google

IV. — Action de la vapeur dans les cylindres.

Après avoir pris une connaissance sommaire des diverses expériences effectuées sur les machines locomotives dans le but d'étudier le travail de la vapeur, nous allons examiner le mode d'action de cette vapeur dans les cylindres des machines, tel qu'il se produit en réalité, c'est-à-dire en tenant compte des conditions physiques dans lesquelles s'opèrent les diverses phases du travail.

Bien que cette étude n'ait aucune prétention scientifique, il est nécessaire de rappeler ici quelques définitions théoriques et quelques principes physiques relatifs aux vapeurs qui nous serviront de point de départ.

On appelle *cycle*, en thermo-dynamique, la succession des opérations qui font passer un corps d'un certain état défini par une pression, une température et un volume, à un autre état où ces éléments ont une autre valeur; le cycle est *fermé* lorsque le corps revient à son état initial; il est *reversible* si le contour de l'aire figurative du cycle peut être parcouru dans un sens ou dans l'autre; dans un des sens, par exemple, on dépensera du travail et on fera du calorique, dans l'autre on produira du travail en consommant de la chaleur.

Le cycle de Carnot est un cas particulier du cycle fermé, dans lequel il n'y a que deux sources à températures différentes, c'est le cas des machines à vapeur où ces deux sources sont la chaudière d'une part et de l'autre le condenseur, dans l'acception la plus large de cette expression.

Ce cycle est représenté par un diagramme élémentaire composé de quatre courbes dont deux correspondant à l'admission et à l'échappement sont *isothermiques* (fig. 12, pl. 107), et les deux autres correspondant à la détente et à la compression sont *adiabatiques;* nous rappelons que Rankine a appelé lignes adiabatiques celles qui indiquent la loi de variation des pressions avec les volumes, en admettant qu'il ne se produise ni addition ni soustraction de chaleur par des causes extérieures.

Un diagramme d'indicateur est la représentation du cycle; il comprend en effet quatre phases distinctes : l'admission ou travail à pleine pression, la détente ou expansion, l'échappement et la compression qui

Digitized by Google

ramène au point de départ; ces quatre phases se répartissent dans des proportions variables entre les deux courses simples du piston qui constituent un tour de l'essieu moteur. La figure 13, pl. 107, montre la relation du diagramme représentatif du cycle avec le cercle représentant le parcours de la manivelle motrice.

Nous allons rappeler les principes de la théorie des vapeurs en nous conformant aux notations de MM. Clausius et Zeuner qui sont aujourd'hui adoptées universellement.

La quantité de chaleur totale λ qui est nécessaire pour transformer un kilogramme d'eau à 0 degré en vapeur saturée ayant la pression p et la température t est

$$\lambda = q + r,$$

q étant la chaleur du liquide dont la valeur pour l'eau est

$$q = t + 0{,}00002\,t^2 + 0{,}0000003\,t^3,$$

et r la chaleur latente de vaporisation. On sait que M. Regnault a donné pour λ la relation

$$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305\,t.$$

λ étant la quantité de chaleur qu'il a fallu communiquer à l'eau pour produire la vapeur; on admettait autrefois que cette même quantité de chaleur restait dans la vapeur. Actuellement, d'après la théorie mécanique de la chaleur, on doit conclure que la vapeur occupant un plus grand volume que l'eau, il y a eu dilatation, et que cette vapeur ayant produit un certain travail par sa formation, à ce travail correspond la disparition d'une certaine quantité de chaleur.

On trouve que cette quantité de chaleur est égale à

$$A\,p\,u$$

A étant l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur, soit $\frac{1}{425}$, p la pression de la vapeur, et u la dilatation, c'est-à-dire la différence entre le volume de la vapeur à la pression p et celui de l'eau qui a servi à la former.

Il reste donc dans la vapeur après sa formation, une quantité de chaleur

$$J = \lambda - A\,p\,u.$$

M. Zeuner a appelé cette quantité la chaleur de la vapeur; cette quantité indique combien un kilogramme de vapeur saturée à la pression p contient de calories de plus qu'un kilogramme d'eau à zéro.

Digitized by Google

On peut remarquer que la chaleur disparue en travail Apu porte sur la chaleur latente r et non sur la chaleur de l'eau q, de sorte que si on retranche Apu de r il reste une quantité de chaleur $\rho = r - Apu$, qu'on appelle la chaleur latente interne, Apu étant la chaleur latente externe; la somme de ces deux chaleurs latentes est la chaleur latente r des ouvrages de physique élémentaire.

Les tables qu'on trouve maintenant dans un grand nombre d'ouvrages donnent les valeurs de q, ρ, Apu pour les températures correspondantes aux diverses pressions de la vapeur.

Une observation, qu'on peut faire immédiatement, est que le travail à pleine pression dans le cylindre se faisant en vertu de l'augmentation de volume due à la production même de la vapeur dans la chaudière, il n'y a pas, dans le cylindre proprement dit, de dépense de chaleur par ce travail, et par suite pas de condensation comme cela a lieu dans la phase suivante, l'expansion.

On remarquera également que lorsque la vapeur, ayant agi à pleine pression sur le piston d'une machine, se condense par une cause de refroidissement quelconque, elle ne peut abandonner que la quantité de chaleur qu'elle possède, c'est-à-dire celle qui a servi à la former, diminuée de celle qui correspond au travail effectué, soit Apu; mais on doit aussi conclure que si de la vapeur se condense sans avoir produit de travail, par exemple dans le chauffage d'enveloppes, elle doit fournir la quantité intégrale de chaleur qui a servi à la former, puisqu'il n'y a pas eu de travail extérieur fourni. Dans ce cas la contraction de volume due à la condensation doit produire une quantité de chaleur égale à celle qu'a absorbée la dilatation due à la vaporisation.

Comme nous l'avons déjà dit, il y a près de trente-cinq ans que Combes et Thomas avaient remarqué que dans les machines détendant notablement avec des cylindres sans enveloppe, il y avait plus de vapeur à la fin de la détente qu'au commencement, à en juger par les diagrammes d'indicateur qui donnaient des courbes *surélevées;* ils attribuèrent cet effet constant à la vaporisation pendant la détente de l'eau condensée pendant l'admission. Ce phénomène caractéristique a été constaté fréquemment depuis, comme nous l'avons vu, sur les locomotives, et il a été sur les machines fixes l'objet des recherches si connues de MM. Hirn, Leloutre, etc.

Nous avons eu l'occasion de constater cette production de vapeur dans des circonstances assez curieuses pour que nos observations aient

Digitized by Google

été jugées dignes d'être citées, notamment par M. Couche dans le dernier fascicule de son grand ouvrage[1]. On nous permettra de donner de nouveau le passage contenu dans les *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, année 1873, page 839 :

Nous avons relevé, notre collègue M. Clair et moi, un grand nombre de courbes d'indicateur sur la machine de ses ateliers, machine sans condensation où l'admission pouvait être réduite à des fractions très-minimes de la course, variant de 1/40 à 1/8; les expansions réelles étaient toutefois beaucoup moindres par suite de l'existence des espaces neutres; la correction ramenait les expansions apparentes de

	40,	20,	13,33	10 et	8 volumes
aux chiffres de	14	10,5	8	7 et	6.

La figure 1, planche 108, représente un diagramme relevé sur cette machine à une expansion réelle de 14 volumes; la pression initiale absolue étant seulement de 2,75 atmosphères, la tension à la fin de la course, calculée d'après la loi de Mariotte, aurait dû être considérablement inférieure à la pression atmosphérique.

Il n'en est rien. La pression qui dès la fermeture de la lumière baisse rapidement, cesse bientôt de décroître aussi vite; elle se maintient à quelque distance de la ligne atmosphérique et se trouve à fin de course encore notablement au-dessus de celle-ci. Cet effet est dû à la vaporisation pendant la détente de l'eau contenue dans le cylindre, qui fournit un supplément de vapeur, dont la tension s'ajoute à la tension normale. Il est nécessaire d'ajouter qu'on s'était assuré préalablement que ce supplément de vapeur ne pouvait être attribué à des causes étrangères, telles que des fuites au tiroir ou au piston.

La courbe du diagramme est, dans le cas dont il s'agit, considérablement surélevée ; c'est toujours l'indice du phénomène que nous venons de signaler.

Comme les diagrammes sous leur forme naturelle ne donnent pas de renseignements directs sur le poids de vapeur qui existe au cylindre, nous avons pensé qu'on pourrait rendre leurs indications plus claires en les faisant servir à la construction de *diagrammes de poids.*

On divisera un axe horizontal en dix parties égales, par exemple, chacune correspondant à un dixième de la course du piston. A chacun de ces dixièmes correspond un certain volume occupé par la vapeur,

1. *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 761.

Digitized by Google

volume composé : 1° d'un dixième du volume engendré par le piston; 2° de l'espace neutre. Si maintenant on prend sur le diagramme des pressions la pression qui existe à chaque division, on connaîtra, en se reportant aux tables relatives à la vapeur, le poids spécifique de la vapeur[1], et en faisant le produit du volume par ce poids spécifique, on obtiendra le poids exact de la vapeur qui existe à chaque période dans le cylindre, soit pour l'aller, soit pour le retour. En réunissant les sommets des ordonnées représentant ces poids par une courbe continue, on aura un diagramme fermé qui indique la variation des poids de vapeur présents au cylindre pendant un tour. Le diagramme théorique des poids serait représenté figure 13, planche 107. On voit que le poids de vapeur augmentant pendant l'admission resterait constant ou plutôt diminuerait légèrement pendant la détente, décroîtrait pendant l'échappement jusqu'au commencement de la compression où le poids de vapeur restant dans le cylindre resterait le même jusqu'à l'ouverture à l'admission. Nous allons voir que les choses ne se passent pas du tout ainsi en pratique.

En effet, la figure 1, planche 108, représente le diagramme des poids pour la machine dont nous avons parlé plus haut. On voit que, dès la fermeture de la lumière, la quantité de vapeur diminue légèrement, parce qu'il se produit tout d'abord une condensation par l'effet même de l'augmentation de volume et peut-être aussi parce que les parois ne sont pas encore réchauffées à la température de la vapeur de la chaudière, mais cet effet est très-court, et, dès que la pression baisse dans le cylindre, le poids de vapeur augmente de plus en plus, si bien qu'à la fin de la détente, on peut constater l'existence d'un poids de vapeur égal à cinq fois environ le poids accusé par le diagramme à la fin de l'admission[2].

La présence de cette énorme quantité de vapeur ne peut s'expliquer que par la vaporisation, pendant la période de détente, et à la faveur de l'abaissement de la pression, de l'eau qui se trouvait dans le cylindre. Mais d'où provient cette eau? On peut penser tout d'abord que ce pour-

1. Nous ferons observer ici que lorsque les pressions diffèrent peu les unes des autres, on peut sans erreur sensible prendre pour multiplier les volumes du cylindre, au lieu des poids spécifiques, les pressions mêmes relevées sur les diagrammes; le calcul est notablement simplifié et on peut se passer de tables.

2. Le tableau P qu'on trouvera plus bas, indique l'augmentation de ce poids de vapeur avec le volume occupé par celle-ci.

Digitized by Google

rait être de l'eau amenée mécaniquement par entraînement avec la vapeur. Examinons cette question.

Dans le cas qui nous occupe, la pression à l'admission est de 2,75 atmosphères absolues, soit une température de 131 degrés, la contre-pression de 1,1 atmosphères, soit une température de 102,68 degrés.

Si nous désignons par p le poids d'eau existant dans le cylindre à la fin de l'admission et dont l'origine est en question, et p' le poids de vapeur produit pendant la détente et qui s'ajoute au poids de vapeur introduit pendant l'admission, si on suppose que ce poids p' s'est vaporisé à une température moyenne entre les températures extrêmes 131 et 102.68, soit 116.8, il contiendra une quantité de chaleur totale égale à

$$p' (606.5 + 0{,}305 \times 116.8) = p' \times 642.18.$$

On a donc :

$$132\,p = 103.22\,(p - p') + 642.18\,p'$$

d'où :

$$\frac{p'}{p} = \frac{132 - 103.22}{642.18 - 103.22} = 0{,}0528.$$

Donc, pour produire un kilogramme de vapeur pendant la détente il aurait fallu qu'il y eût 18,94 kilogrammes d'eau au cylindre, et comme le poids de vapeur présent au cylindre à la fin de l'admission était de 0,250, la proportion d'eau dans le mélange aurait dû être de $\frac{18.94}{18.94 + 0{,}250} = 0{,}975$, ce qui est évidemmment de toute impossibilité, d'autant plus que dans l'espèce la vapeur devait être très-peu chargée d'eau, la machine dépensant peu de vapeur pour les dimensions de la chaudière.

En supposant même que la vapeur contint la proportion considérable de 30 pour 100 d'eau, on aurait eu seulement à la fin de la détente 1.026 du poids de vapeur présent à la fin de l'admission, soit 2 1/2 pour 100 environ d'augmentation.

On est donc bien obligé de reconnaître que la vaporisation pendant la détente de l'eau entraînée avec la vapeur ne peut fournir qu'un appoint insignifiant.

Comme nous l'avons déjà indiqué, à plusieurs reprises, on ne peut attribuer la présence de cette énorme quantité de vapeur qu'à la vaporisation pendant la détente de l'eau qui s'était condensée pendant l'ad-

Digitized by Google

mission au contact des parties du cylindre refroidies pendant la détente et l'échappement. Nous reviendrons plus loin, d'une manière plus précise, sur ce mode d'action du cylindre.

On a émis des doutes sur la possibilité d'un effet aussi prompt et aussi complet des parois du cylindre en invoquant les propriétés peu conductrices et diathermanes des gaz, et la rapidité d'une action qui devrait s'effectuer dans un laps de temps qui parfois n'atteint pas *un dixième de seconde.*

Rien n'est pourtant plus réel.

« L'influence des parois, dit M. Hirn, est par trop puissante pour qu'on puisse en faire abstraction, sans aboutir à des erreurs considérables.

« La cause la plus *désastreuse* de perte de chaleur dans les machines à vapeur, c'est l'évaporation instantanée de l'eau qui reste le long des parois des cylindres à la fin de la détente et au moment où se fait l'échappement au condenseur.

« Nous devons, dit M. Hallauer[1], faire remarquer que nous avons affaire à un gaz saturé, mêlé à un liquide en poussière qui est lui-même à l'état de saturation; on ne peut donc enlever de la chaleur ou en ajouter sans qu'une partie de la vapeur se condense, ou qu'une portion du liquide s'évapore, et cette transformation n'est pas due à une perte ou à un gain de chaleur de toute la masse, mais seulement à ce fait que les parties en rapport direct avec la cause de chaud ou de froid perdent ou gagnent. Le changement de température de toute la masse n'est ainsi dû qu'au changement de pression occasionné par une condensation ou une évaporation partielle, car on sait en physique qu'une vapeur introduite dans un réservoir, dont les parois sont à des températures différentes, arrive rapidement à la tension qui correspond à la température la plus basse. C'est sur cette propriété qu'est basé le fonctionnement du condenseur, une des plus belles inventions du génie de Watt. »

Il est juste de dire que cette explication qui rend bien compte de la rapidité d'action des parois, avait déjà été donnée par M. Clark.

Nous avons représenté les diagrammes de poids avec les diagrammes de pressions correspondants pour un certain nombre de machines dans les planches 107, 108 et 109 :

1° Figure 14, planche 107, machine locomotive *Ampfing*, expérimentée par M. Bauschinger;

2° Planche 108, figure 1, machine fixe d'expérience que nous avons citée plus haut;

3° Figures 2 et 3, machine locomotive à voyageurs;

1. *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, année 1876.

Digitized by Google

4° Figures 4 et 5, machine locomotive à marchandises;

5° Planche 109, figures 1 et 2 machine locomotive *Bayonne*, fonctionnement direct dans les deux cylindres;

6° Figures 3 et 4, même machine, fonctionnement Compound;

7° Figure 5, machine fixe Corliss.

Nous nous référerons à ces diagrammes en étudiant successivement les diverses phases du travail de la vapeur dans les cylindres.

1° PÉRIODE D'ADMISSION.

L'admission au cylindre de la vapeur de la chaudière se fait dès l'ouverture de la lumière, c'est-à-dire dans les machines locomotives à distribution bien réglée, un peu avant la fin de la course.

La pression de la vapeur s'établit sur le piston plus ou moins rapidement suivant : 1° l'ouverture du régulateur; 2° la section des passages, tuyaux, lumières, etc.; 3° la pression à la chaudière; 4° la vitesse du piston. Si on suppose la même ouverture de régulateur, et la seconde condition restant évidemment la même pour une machine donnée, la pression initiale variera suivant la pression à la chaudière, et par conséquent, pour une même valeur de celle-ci, le rapport ne sera influencé que par la vitesse du piston.

La vitesse du piston varie d'un point à l'autre de la course, depuis zéro jusqu'à un maximum égal à la vitesse du bouton de manivelle; ainsi, avec $0^m,60$ de course et 3 tours de roues par seconde, la vitesse moyenne sera $0,60 \times 2 \times 3 = 3^m,600$, mais la vitesse maxima sera $0,60 \times 3.14 \times 3 = 5^m,652$.

On a exagéré alternativement, dans chaque sens, la valeur de la chute de pression entre le cylindre et la chaudière. Beaucoup de personnes croient encore que cette chute est nécessairement considérable; on a été jusqu'à dire, dans des discussions récentes devant la Société, que la pression initiale ne pouvait être évaluée sur le piston à plus de 7 kilogrammes (avec 10 à la chaudière), en raison de la vitesse de fonctionnement, même lorsque le régulateur est ouvert en plein.

C'est une erreur; ces pertes énormes de pression s'évitent parfaitement en pratique avec de bonnes sections de passages et de tuyaux; il y a déjà vingt ans qu'au chemin de fer d'Orléans, on constatait, même à des vitesses assez considérables, des pressions à l'admission qui

Digitized by Google

atteignaient par rapport à la pression à la chaudière le rapport de 0,93, 0,96, 0,98 et même 1.

Dans les machines locomotives du chemin de Biarritz on a obtenu des pressions initiales au petit cylindre de 10 kilogrammes effectifs, même avec une vitesse de rotation assez considérable.

Il est bien certain, toutefois, qu'il ne faut pas aller trop loin et se fier indéfiniment, comme le font d'autres personnes, aux énormes vitesses que peut prendre la vapeur, d'autant plus que le mélange d'eau avec la vapeur change notablement les conditions d'écoulement admises pour la vapeur sèche. Si on peut compter sur une pression égale à celle de la chaudière à l'origine de la course lorsque le piston est en repos, il n'en est plus de même aux environs du milieu de la course où, comme nous venons de le voir, la vitesse peut atteindre $5^m,652$. Si alors l'ouverture des lumières est de 1/30 de la section du piston, il faut que la vitesse de la vapeur soit de $169^m,56$, et si l'ouverture se réduit à 1/100, la vitesse de la vapeur doit atteindre l'énorme valeur de 565 mètres par seconde. Il est impossible qu'il n'y ait pas alors une dépression réelle et que le diagramme ne présente pas un arrondi autour du point de fermeture, c'est ce qu'on constate sur certains des diagrammes d'indicateur représentés sur les planches; la ligne qui figure la période d'admission est plus ou moins inclinée par rapport à l'horizontale. On voit que dans d'autres, au contraire, cette ligne est sensiblement parallèle à l'axe des abscisses.

Tous les diagrammes de poids représentés indiquent bien nettement que le poids de vapeur augmente proportionnellement à la marche du piston.

C'est pourtant dans la période d'admission que se produit la condensation considérable dont nous avons parlé, mais cette condensation n'affecte pas sensiblement la pression au cylindre, si les conduits d'arrivée ont une section suffisante, pas plus que l'ouverture des robinets purgeurs n'empêche la pression d'atteindre sur les pistons la même valeur que si ces robinets n'étaient pas ouverts.

La vapeur affluant de la chaudière se condense donc en partie sur les parois relativement froides du cylindre, du piston et de la tige de ce dernier, en formant une couche de rosée extrêmement mince, mais dont le poids ne finit pas moins par être sensible; on a souvent parlé de l'épaisseur de 1/50 de millimètre.

Dans une locomotive à cylindres de $0^m,42$ de diamètre et $0^m,600$ de

Digitized by Google

course, la surface en contact avec la vapeur, pendant l'admission en supposant le piston à 1/5 de la course, peut être évaluée à :

Partie cylindrique.	$0^{mq},1584$
Plateau du cylindre.	0 ,1385
Face du piston.	0 ,1385
Demi-tige.	0 ,0113
Surface du conduit de lumière. .	0 ,3000[1]
Surface totale.	$0^{mq},7467$

soit 3/4 de mètre carré environ, de sorte que la couche de 1/50 de millimètre représenterait un poids d'eau de 15 grammes environ ; comme cette portion du cylindre contiendrait à peu près 100 grammes de vapeur à 9 atmosphères absolues, cette couche si insignifiante en apparence représenterait 15 pour 100 du poids de vapeur admis au cylindre.

On a beaucoup discuté sur *la couche active* qui est influencée dans le cylindre et dont le passage de l'une à l'autre des températures extrêmes absorbe et résorbe une quantité de calorique produisant la condensation de la vapeur ou la vaporisation de l'eau.

On a cherché à calculer l'épaisseur de cette couche qui n'a besoin d'avoir qu'une très-faible épaisseur pour constituer un poids de métal capable d'exercer une influence notable. On a même attribué une importance considérable à la nature de la matière qui constitue les parois du cylindre, et on a cherché à diminuer la valeur du *coefficient d'absorption* en substituant à la fonte des matières de moindres conductibilité et capacité calorifique, telles que le plomb, le verre ou la porcelaine. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Il y a un élément dont la présence a une action très-importante sur le phénomène qui nous occupe et qu'il est impossible de négliger, c'est l'eau qui existe toujours à l'état liquide dans le cylindre, quelle que soit sa provenance, et qui, une fois introduite dans ce récipient, ne peut plus en être chassée; au contraire, sa quantité augmente toujours par la force même des choses jusqu'à ce que l'excès, mais non la totalité, soit expulsé naturellement par l'échappement ou autrement par les robinets ou soupapes de purge.

1. L'inconvénient des espaces neutres tient moins au volume même de ces espaces qu'à la surface considérable de refroidissement à laquelle il correspond, surface qui dans l'exemple que nous indiquons, est de 40 p. 100 de la surface totale; on s'explique dès lors l'intérêt qu'il y a à réduire ces espaces à ce point de vue.

Digitized by Google

L'action de l'eau est d'autant plus énergique que sa capacité calorifique est sept fois environ aussi grande que celle de la fonte et que ses pouvoirs émissifs et absorbants sont considérables.

Cet effet avait déjà été signalé il y a longtemps. Dans son *Traité de l'hélice propulsive*[1], publié en 1855, M. l'amiral Pâris, à propos des machines de l'*Algésiras* construites par M. Dupuy de Lôme avec des enveloppes d'air chaud autour des cylindres, écrivait ce qui suit :

« Dans cette machine, les déperditions de chaleur sont arrêtées par une chemise en tôle qui entoure de toutes parts le cylindre, et sert à la circulation de l'air chaud pris entre la cheminée et la chemise qui entoure celle-ci, de manière à faire circuler toujours le même air dans ces parties et autour des cylindres, au moyen d'un ventilateur mis en mouvement par la machine. Avant de mettre la machine en marche, le ventilateur est tourné à bras pour réchauffer les cylindres et les mettre à même de développer toute la force au premier commandement. L'air ainsi entraîné a pour but de maintenir le cylindre à une température un peu plus élevée que celle de la vapeur employée, et d'empêcher non-seulement les pertes de chaleur par rayonnement, mais aussi celles occasionnées par la manière d'agir de la vapeur dans le cylindre. Car ce n'est que par des alternatives de températures différentes que la force est produite, le froid du condenseur diminue la température intérieure, et produit sur toutes les parois du cylindre et du piston des gouttes de rosée qui condensent la vapeur beaucoup plus que ne le fait le métal. En effet, ce dernier a très-peu de chaleur spécifique et sa conductibilité n'est pas assez grande pour que les variations de température si rapprochées le pénètrent, et trouvent assez de chaleur à prendre ou à donner. C'est surtout à cette rosée que M. Dupuy de Lôme attribue les pertes considérables du fonctionnement intérieur de la vapeur, et il les diminuera beaucoup par cette enveloppe d'air qu'il compte maintenir à une température d'environ 120°, son but étant d'empêcher la vapeur de se refroidir et surtout de *conserver les cylindres secs.* »

Il est de fait que les consommations de l'*Algésiras* ont été très-favorables pour l'époque.

On doit admettre que, dans les machines locomotives actuelles, il se trouvera toujours au départ de l'eau dans les cylindres (nous disons actuelles, parce que dans les anciennes machines à cylindres intérieurs logés dans la boîte à fumée, il est probable que les choses se passaient un peu différemment) et que malgré l'ouverture des robinets purgeurs, il en restera toujours une certaine quantité. Dès lors cette eau ira toujours en augmentant.

1. *Traité de l'hélice propulsive*, page 454.

Digitized by Google

M. Gérardin, Ingénieur en chef et professeur à l'École des ponts et chaussées, a, dans le cours de machines à vapeur professé à cette école, année 1874, démontré analytiquement que la quantité d'eau condensée à chaque fois est toujours plus grande que celle qui se vaporise et que par conséquent, si on n'employait pas de moyen pour l'expulser, la quantité d'eau irait indéfiniment en augmentant.

Nous ne reproduirons pas cette démonstration, mais nous la remplacerons par quelques considérations élémentaires.

Supposons qu'il existe 1 kilogramme d'eau liquide dans le cylindre et que les pressions alternatives soient 8 atmosphères absolues, température 170,8, et 1 atmosphère, température 100°.

La revaporisation pourra être supposée s'opérer à une température moyenne de 135°,4, et chaque kilogramme de vapeur ainsi formée enlèverait 647,7 calories.

On trouvera par un calcul très-simple, dont le spécimen a déjà été donné plus haut, que le poids de vapeur formé sera de $0^k,129$, il restera donc $1 - 0,129 = 0^k,871$ d'eau liquide.

On fera maintenant arriver de la vapeur à 170,8 degrés ; il se condensera un poids p de vapeur pour réchauffer l'eau à 170,8 ; nous supposerons que cette vapeur est un mélange de 80 de vapeur et de 20 d'eau entraînée, cas qui se présente sur les locomotives, et nous supposerons de plus que la vapeur se condense sans produire de travail, et dégage par conséquent toute sa chaleur latente, tant interne qu'externe.

On aura alors l'équation :

$$0^k,871 \times (172.89 - 100.5) + p \times 172.89$$
$$= 0,80\,p \times 658.6 + 0,20\,p \times 172.89 ;$$

d'où on tire $$p = \frac{0,871 \times 72,39}{388.57} = 0,871 \times 0,1863,$$

et $p = 0^k,162$. La quantité d'eau finale sera donc :

$$0,871 + 0,162 = 1^k,033.$$

Si on recommence l'évaporation, il se formera un poids de vapeur égal à $1,033 \times 0,129 = 0,133$, et il restera un poids d'eau $0^k,900$, que l'arrivée de la vapeur fraîche ramènera à

$$0,900 \times (1 + 0,1863) = 1,067,$$

et ainsi de suite.

Digitized by Google

Comme il faut à chaque fois multiplier par les facteurs 0,871 et 1,1863, répétés autant de fois qu'on considère de phases successives, on voit que le poids d'eau qui était à l'origine 1 sera après le premier coup de piston 1.033, et au bout de n coups $\overline{1.033}^n$. Le poids initial serait doublé à peu près au vingtième tour, soit en moins de 7 secondes dans une machine marchant à 180 tours par minute; il serait de 6 fois après 50 tours ou 17 secondes, et de 11,5 fois après 100 tours ou 33 secondes.

Cette abondante formation d'eau dans les cylindres avait été remarquée depuis longtemps, sans qu'on se rendît bien compte de sa véritable cause; aussi disposait-on, dans beaucoup de machines marines à cylindres horizontaux ou inclinés, des tiroirs de purge continue sous les cylindres; ces tiroirs en mouvement régulier évacuaient constamment l'eau condensée. Nous avons vu des tiroirs de ce genre sur une machine inclinée à haute pression sans condensation d'un remorqueur de la basse Seine, construite par Pauwels, antérieurement à 1840. On sait que les machines oscillantes de notre célèbre constructeur Cavé étaient munies de tiroirs d'échappement placés sous les cylindres, et qui remplissaient le rôle de ces purgeurs continus.

Il est certain que toute disposition de nature à prévenir un premier dépôt d'eau au cylindre sera par cela même utile; c'est de cette manière surtout qu'agissait la chemise d'air chaud de l'*Algésiras*, et c'est probablement là la véritable raison de l'avantage attribué par Clark aux cylindres intérieurs logés dans les boîtes à fumée. Ces cylindres étant chauffés pendant le stationnement ne permettaient pas de condensation au départ, et dès lors cette cause spéciale de perte se trouvait supprimée ou considérablement atténuée.

Si la condensation se produit pendant l'admission, ses effets ultérieurs se manifestent dans les périodes suivantes, et c'est là que nous les étudierons.

2° PÉRIODE DE DÉTENTE.

Dès que la lumière d'admission est entièrement fermée, commence théoriquement la période de détente. On remarquera que dans les locomotives la détente commence en pratique un peu plus tôt, car dès que l'ouverture de la lumière est assez rétrécie pour ne pas laisser

Digitized by Google

passer toute la vapeur que demanderait le mouvement du piston, la vapeur déjà admise doit se détendre pour y suppléer; on a attribué une grande importance à avoir des organes fermant instantanément les lumières. Nous ferons observer que, suivant le point de la course du piston où se fera la fermeture de la lumière, cette fermeture s'opérera plus ou moins vite; ainsi, au milieu de la course, alors que le piston est animé, comme on l'a vu plus haut, d'une vitesse qui atteint et dépasse $5^m,65$ par seconde, on peut par la construction d'un diagramme très-simple constater que la vitesse du piston est de 7 à 8 fois celle du tiroir, et que par conséquent les 2 ou 3 millimètres de parcours de ce dernier, qui précèdent la fermeture complète, seront parcourus pendant que le piston parcourt 15 à 25 millimètres, et en un laps de temps de $\frac{1}{380}$ à $\frac{1}{225}$ de seconde. Il semble qu'il y a là une fermeture suffisamment instantanée.

Si on ferme l'admission plus près du commencement de la course, alors que le piston a une vitesse relativement plus faible, la fermeture sera aussi relativement moins rapide, mais elle le sera toujours suffisamment pour qu'il n'y ait pas, à notre avis, à s'occuper sérieusement du plus ou moins d'instantanéité de cette fermeture, et de ses conséquences pratiques.

La recherche de la loi qui régit l'expansion de la vapeur dans les cylindres des machines a beaucoup préoccupé les physiciens et les ingénieurs, et on a débité sur cette question les choses les plus étranges.

La première idée a été de mettre en avant la loi de Mariotte ou la loi de Boyle, comme disent les Anglais. Il est difficile de se rendre compte du rapport que peut avoir le phénomène de la détente dans les machines avec la loi de Mariotte, qui ne s'applique qu'aux gaz permanents restant à la même température et n'effectuant pas de travail. Si elle se vérifiait pratiquement, ce ne serait qu'une pure coïncidence due au hasard.

« En calculant, dit M. Leloutre, le travail effectif d'une machine, d'après la loi de Mariotte, on peut commettre dans certains cas une erreur de plus de 26 pour 100; il est donc impossible de s'appuyer à l'avenir sur une prétendue loi aussi fausse. »

Et cependant, chose bien curieuse, si peu rationnelle qu'elle soit, comme on le verra plus loin, la loi de Mariotte s'écarte moins de la loi

Digitized by Google

pratique de la détente que les lois théoriques qu'on a cherché à lui substituer d'après les bases de la thermodynamique pure.

Une loi plus naturelle serait la loi qui régit les rapports des volumes des vapeurs saturées avec les pressions. Mais comme la vapeur à une pression supérieure contient plus de chaleur totale que celle qui correspond à la pression inférieure, l'excédant de la chaleur demeurant disponible, il y aurait, si les parois du récipient sont imperméables à la chaleur et s'il n'y a pas de travail fait, production du phénomène qui a été surtout étudié par M. Hirn, et appelé par lui *surchauffe spontanée*. Cette circonstance rendrait encore la diminution des pressions moins rapide.

Mais dans les cylindres de machines, il y a toujours production de travail, dès lors absorption de chaleur et diminution de la quantité de vapeur (nous supposons toujours les parois imperméables au calorique et la vapeur saturée et sèche, toutes conditions qui ne se réalisent jamais), la diminution de pression se fera donc plus rapidement que tout à l'heure.

Nous venons de dire que les conditions énoncées ci-dessus ne se rencontrent jamais en pratique, par exemple l'imperméabilité absolue des parois des cylindres; mais, de plus, les conditions où se trouve la vapeur peuvent changer d'un instant à l'autre pendant la course du piston; elle pourrait être d'abord surchauffée, puis saturée sèche, ensuite saturée avec excès d'eau. Il semble donc qu'il est difficile de trouver une loi de détente théorique exacte, et, comme on l'a fait très-justement remarquer, il y a beaucoup de cas où il serait nécessaire, pour l'étude de la détente totale, d'appliquer successivement plusieurs lois suivant l'état où se trouve graduellement la vapeur.

« Il n'y a pas, dit encore M. Leloutre dans ses *Recherches expérimentales sur les machines à vapeur*, de loi de détente unique dans les machines, ou plutôt la loi générale, si on parvient à en établir une, varie dans ses effets d'un coup de piston à l'autre. La loi des pressions pendant la détente doit non-seulement varier dans une certaine mesure, d'une machine à l'autre, mais encore dans la même machine, selon qu'elle reçoit plus ou moins de vapeur par coup de piston. »

On a proposé diverses lois de décroissance des pressions, que nous passerons rapidement en revue.

1° La courbe adiabatique de la vapeur saturée sèche à l'origine, c'est-à-dire la courbe de la vapeur qui se détend sans addition ni soustraction extérieures de chaleur.

Digitized by Google

2° La courbe adiabatique pour la vapeur saturée, mais contenant une proportion d'eau mélangée plus ou moins considérable.

M. Zeuner considère qu'il n'est pas possible, dans l'état actuel de la science, de représenter par des équations simples les lois de la détente, qu'il faut recourir à des formules empiriques.

3° Dans cet ordre d'idées, Rankine avait proposé une formule approximative.

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\mu}$$

μ étant une quantité constante égale à 1.111, soit $\frac{10}{9}$.

D'autres auteurs ont, en prenant une expression semblable, attribué à μ des valeurs différentes comprises entre $\mu = 1$, ce qui donne la loi de Mariotte jusqu'à $\mu = 1.41$, cas des gaz permanents se détendant avec travail interne.

4° M. Zeuner propose la valeur empirique $\mu = 1.035 + 0{,}100\,x$, x étant la proportion de vapeur dans le mélange sorti de la chaudière, on a ainsi pour diverses valeurs :

x =	1	0,90	0,80	0,70
μ =	1.135	1.125	1.115	1.103

il en résulte que, plus la quantité d'eau est considérable, plus μ s'approchera de l'unité et plus la courbe de détente se rapprocherait de la loi de Mariotte.

5° Redtenbacher a donné la formule suivante d'après les expériences de Pambour :

$$p = \frac{v_0}{v}(0{,}284 + p_0) - 0{,}284.$$

Si on remarque qu'avec la loi de Mariotte, on a : $p = \frac{v_0}{v} p_0$, on trouve que la valeur de p avec l'expression ci-dessus est égale à l'ordonnée de la courbe de Mariotte diminuée d'un terme où entre la détente :

$$p = p_0 \frac{v_0}{v} - 0{,}284\left(1 - \frac{v_0}{v}\right).$$

La formule de Redtenbacher, mise sous la forme $p = p_0\left(\frac{v_0}{v}\right)^n$, nécessiterait pour μ des valeurs variables, depuis $\mu = 1.056$ au commencement de la course à $\mu = 1.15$ à la fin.

Digitized by Google

6° La loi de Mariotte, dont les ordonnées sont supérieures à celles de toutes les lois précédentes. L'application de cette loi suppose une addition extérieure de chaleur ou, ce qui a lieu en pratique, une production de vapeur pendant la détente.

7° Enfin la courbe de la détente réelle et pratique dans les cylindres des machines à vapeur, qui est toujours au-dessus de celles que nous venons de voir et qui ne représente pas une loi réelle de détente, puisque la quantité de vapeur présente au cylindre va en augmentant à chaque instant à mesure que le piston avance. Nous raisonnons ici dans le cas de détentes un peu prolongées.

On a cependant cherché à la représenter par une expression de la forme $p = p_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\mu}$, en donnant à l'exposant μ une valeur convenable[1].

Il est à remarquer que, tandis que pour la loi de Mariotte on a $\mu = 1$, tous les auteurs des formules que nous venons de citer, guidés par la thermodynamique pure et par les *théories génériques*, se sont ingéniés à trouver pour μ des valeurs approchées jusqu'à la troisième décimale, mais toujours supérieures à l'unité, tandis que les diagrammes d'indicateur représentant en définitive les détentes pratiques donnent, dans l'immense majorité des cas, des valeurs de μ plus petites que l'unité, c'est-à-dire conduisant à des courbes surélevées.

M. Leloutre, en étudiant des diagrammes relevés sur des machines de Woolf (*Mémoires de la Société industrielle du nord de la France*), a trouvé, d'après les diagrammes du petit cylindre, des valeurs de α variant de 0,37 à 0,72, et pour les diagrammes du grand cylindre de 0,50 à 0,81.

Nous avons reproduit dans le tableau O les valeurs des pressions calculées d'après les diverses lois mentionnées ci-dessus pour des volumes croissant par unité de 1 à 10, ainsi que la pression moyenne donnant par conséquent le travail effectué pendant la détente.

Dans le tableau P nous avons indiqué les poids de vapeur représentés par les pressions du tableau précédent.

On voit combien, avec les valeurs de μ inférieures à l'unité, les poids augmentent rapidement.

1. On trouvera dans le *Bulletin de l'Association des Propriétaires d'appareil à vapeur du nord de la France* 1875-1876, un travail très-intéressant de M. Cornut, Ingénieur en chef de cette Association, sur les lois de la détente pratique.

Digitized by Google

Tableau O. — **Variation des Pressions de la vapeur avec les volumes pour diverses lois de détente.**

Nos	VALEURS DE L'EXPOSANT μ dans la formule $p = p_o \left(\frac{v_o}{v}\right)^{\mu}$.	PRESSIONS AUX VOLUMES SUCCESSIFS CI-DESSOUS OCCUPÉS PAR LA VAPEUR.										PRESSION moyenne ou travail proportionnel.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Gaz permanents $\mu = 1,41$	10,00	3,763	2,220	1,417	1,034	0,800	0,643	0,532	0,451	0,389	1,540
2	Redtenbacher . $\mu =$ de 1,056 à 1,115	10,00	4,808	3,144	2,307	1,770	1,429	1,185	0,966	0,858	0,744	2,175
3	Zeuner $\mu = 1,135$	10,00	4,553	2,874	2,073	1,609	1,309	1,099	0,942	0,825	0,732	2,043
4	Rankine $\mu = 1,111$	10,00	4,633	2,954	2,146	1,675	1,369	1,153	0,994	0,872	0,775	2,100
5	Zeuner $\mu = 1,103$	10,00	4,655	2,977	2,168	1,695	1,386	1,169	1,007	0,886	0,788	2,127
6	Regnault.....	10,00	4,780	3,104	2,285	1,802	1,484	1,259	1,092	0,963	0,860	2,241
7	Mariotte $\mu = 1,000$	10,00	5,000	3,333	2,500	2,000	1,666	1,428	1,250	1,111	1,000	2,379
8	Diagrammes $\mu = 0,80$	10,00	5,744	4,150	3,300	2,759	2,385	2,108	1,895	1,724	1,584	3,023
9	Id. $\mu = 0,50$	10,00	7,071	5,773	5,000	4,472	4,083	3,780	3,535	3,333	3,161	4,470
10	Id. $\mu = 0,37$	10,00	7,738	6,666	5,990	5,511	5,153	4,867	4,633	4,436	2,266	5,355
11	Machine fixe d'expériences..	10,00	6,820	6,250	5,910	5,770	5,680	5,500	5,360	5,230	5,120	5,540

Tableau P. — **Variation des Poids de vapeur avec les volumes pour diverses lois de détente.**

Nos	LOIS DE DÉTENTE.	POIDS DE VAPEUR PRÉSENT AU CYLINDRE AUX VOLUMES CI-DESSOUS.										TRAVAIL proportionnel pour l'unité de poids de vapeur.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Zeuner $\mu = 1,135$	1,000	0,956	0,931	0,913	0,900	0,888	0,878	0,869	0,863	0,857	2,043
2	Redtenbacher.....	1,000	1,006	1,043	1,035	0,984	0,965	0,944	0,890	0,875	0,869	2,085
3	Rankine $\mu = 1,111$	1,000	0,971	0,955	0,943	0,934	0,927	0,920	0,914	0,909	0,904	2,100
4	Regnault.....	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,241
5	Mariotte $\mu = 1,000$	1,000	1,044	1,069	1,089	1,104	1,116	1,125	1,135	1,141	1,149	2,070
6	Diagrammes $\mu = 0,80$	1,000	1,189	1,315	1,413	1,493	1,562	1,623	1,678	1,727	1,772	1,706
7	Id. $\mu = 0,37$	1,000	1,572	2,050	2,473	2,859	3,221	3,561	3,886	4,197	4,496	1,191
8	Machine fixe d'expériences..	1,000	1,325	1,818	2,310	2,803	3,258	3,712	4,166	4,621	5,076	1,091

Digitized by Google

Pour montrer que la loi représentée par l'équation $p = p_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\mu}$ avec $\mu = 0{,}37$ peut se rencontrer en pratique dans certaines conditions, nous avons fait figurer dans ce tableau les poids de vapeur donnés par le diagramme (fig. 1, pl. 108) de la machine fixe que nous avons étudiée; on voit que, bien que la croissance des poids ait lieu d'une manière sensiblement différente, le poids final est encore un peu supérieur à celui qui est donné par la formule ci-dessus avec $\mu = 0{,}37$.

Nous rappelons que nous avons donné dans les tableaux L et M, au sujet des expériences de Bauschinger, les rapports des pressions moyennes réelles aux pressions moyennes calculées d'après la loi de Mariotte pour diverses expansions.

Nous croyons qu'il n'est pas nécessaire d'insister sur des lois qui n'ont pas d'application pratique pour le cas des locomotives, mais il est bon de signaler l'erreur que commettent journellement les auteurs qui admettent que l'effet de l'enveloppe de vapeur est d'augmenter le travail disponible en relevant la courbe de détente; le contraire a lieu: l'action de l'enveloppe diminue la quantité d'eau au cylindre, et par suite la revaporisation; la courbe est donc moins surélevée. Tout au plus peut-on dire, qu'avec l'enveloppe, la revaporisation de l'eau condensée s'effectue un peu plus rapidement, et pendant la période d'expansion plutôt que dans celle d'échappement; mais il n'en est pas moins vrai que, sauf exception, la courbe de détente est moins surélevée avec la machine à enveloppe.

Il est d'autant plus singulier qu'on soit resté si longtemps à employer des lois de détente à courbes *surbaissées*, que depuis longtemps les expériences de Gooch et de Clark avaient signalé la variation des équivalents d'eau avec l'expansion, comme on l'a vu plus haut, mais ces expériences indiquent également comme celles de Bauschinger que la loi de détente varie suivant la valeur même des expansions et que par conséquent il ne peut pas y avoir de loi de détente ni unique ni simple.

On a vu plus haut qu'avec les faibles expansions la différence des équivalents d'eau final et initial est négative, tandis qu'elle est positive pour des expansions peu prolongées; il en résulte que la courbe qui figure l'expansion réelle doit être d'abord au-dessous de la courbe de Mariotte, pour la couper bientôt et passer au-dessus; on observe, en effet, généralement la forme dite *en fond de bateau*, composée de deux

Digitized by Google

portions de courbes dont le diagramme d'indicateur (fig. 1, pl. 108) donne bien l'idée.

L'inspection des diagrammes de poids montre que, dès la fermeture de l'admission, il y a généralement diminution du poids de vapeur; il y a, en effet, non-seulement condensation dans la masse par le fait même du travail dépensé à pousser le piston en avant, mais surtout il se produit encore une condensation contre les parois du cylindre, parois froides relativement que le piston découvre à mesure qu'il avance et condensation qui ne peut maintenant avoir lieu qu'aux dépens de la vapeur renfermée dans le cylindre. Aussi remarque-t-on que la courbe des pressions baisse très-rapidement.

Cet effet se prolonge jusqu'à la fin de la détente, si celle-ci est peu prolongée (fig. 1, 2, 3, 4, pl. 109). Si, au contraire, la détente est poussée plus loin, le régime se modifie; la pression et par suite la température de la masse de vapeur ont baissé, et cette dernière diminue de plus en plus rapidement pour des abaissements égaux de pression. Il en résulte que les parois du cylindre et l'eau qui s'y trouve, soit en rosée sur les parois, soit en masse accumulée à la partie inférieure, se trouvent à une température plus élevée que la masse de vapeur.

Il y a donc échange de chaleur : très-peu par contact, beaucoup par rayonnement. Cet échange de chaleur produit un refroidissement de l'eau, mais une partie de cette eau se vaporisant par l'effet même de l'abaissement de pression, le reste éprouve une seconde cause de refroidissement. Quant aux parois métalliques elles subissent également une perte de chaleur correspondant à celle qu'elles cèdent à l'eau qui les recouvre pour la vaporiser.

On se trouve ainsi dans le cylindre en présence de phénomènes très-multiples qui tendent tous à la vaporisation d'eau liquide ou à la condensation de vapeur saturée.

Ainsi, condensation de vapeur par suite :

1° De la dilatation et du travail effectué;

2° De ce que le piston découvre à chaque instant des tranches circulaires de la surface du cylindre, qui sont à une température plus basse que la vapeur.

Vaporisation :

1° De l'eau vésiculaire contenue dans la masse de la vapeur provenant de la chaudière, aux dépens de sa propre chaleur;

2° Vaporisation de l'eau vésiculaire contenue dans la masse de vapeur

Digitized by Google

et provenant, soit de la chaudière, soit de la condensation due au travail, aux dépens de la chaleur rayonnée par l'eau qui se trouve dans le cylindre sur les parois ou par ces parois elles-mêmes;

3° Vaporisation de l'eau qui se trouve sur les parois aux dépens de sa propre chaleur ou aux dépens de la chaleur des parois du cylindre.

Tous ces phénomènes sont extrêmement complexes et difficiles à analyser, sauf les premiers; on peut, en effet, calculer la quantité de vapeur qui sera ramenée à l'état liquide par suite de la perte de chaleur AT, correspondant à la production d'un certain travail T, par l'expansion adiabatique de la vapeur saturée sèche.

M. Douau a inséré une table contenant ces quantités pour diverses détentes dans le numéro de janvier-février 1877 des *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, page 135. Le tableau P permet également d'apprécier ces condensations suivant les diverses lois de détente.

Quant aux autres phénomènes, s'ils se prêtent difficilement à l'analyse, on peut heureusement les relier ensemble et avec le premier par une relation fort simple.

Si on écarte le refroidissement extérieur du cylindre, refroidissement qu'on peut atténuer avec des précautions jusqu'à rendre tout à fait négligeable, sinon sa valeur même, tout au moins l'erreur qu'on fait en le calculant approximativement[1], on doit admettre que la seule cause qui modifie la somme de chaleur présente au cylindre d'un moment à l'autre de la détente, est la quantité de chaleur dépensée par le travail effectué. On peut donc poser en principe que la quantité de chaleur contenue tant dans l'eau que dans la vapeur et dans les parois du cylindre au moment de la fermeture de la lumière d'admission, sera égale à celle qui est contenue dans les mêmes éléments à la fin de la détente moins la quantité de chaleur AT correspondant au travail effectué pendant la détente.

Il s'en suit que, si on connaît l'une, on peut déterminer très-facilement l'autre, et que si à la fin de la détente toute l'eau se trouvait vaporisée, et le cylindre ne renfermait plus que de la vapeur saturée, on pourrait apprécier le poids de cette vapeur sur les diagrammes et en déduire le poids d'eau et de vapeur présent au cylindre à la fin de l'admission,

1. Ce refroidissement n'est cependant pas négligeable dans les locomotives, car les diagrammes d'indicateur présentent souvent une notable infériorité sur la face d'avant du cylindre qui est directement exposée à l'air dans la marche ordinaire de la machine.

Digitized by Google

poids sorti de la chaudière, sauf une partie réservée, comme on le verra plus loin, par la compression. L'ordonnée maxima de notre diagramme des poids donnerait donc la dépense réelle en vapeur sortie de la chaudière, telle que nous l'avons indiquée sur les figures.

Mais il est probable que, sauf avec des machines à enveloppes de vapeur, il n'en est jamais ainsi, et qu'il reste toujours une certaine quantité d'eau qui se vaporise pendant la période d'échappement et qui survit même à cette période.

Dans le mémoire sur les *Condensations de vapeur à l'intérieur des cylindres*, publié dans les *Annales des Mines*, par M. Ledoux, mémoire que nous avons déjà cité, cet Ingénieur admet que, lorsque la pression arrive, à la fin de la détente, à être égale à la contre-pression à l'échappement, toute l'eau a été vaporisée et qu'on peut dès lors calculer facilement le poids total de vapeur et d'eau sorti de la chaudière, si on connaît la proportion d'eau de ce mélange. Il nous semble difficile qu'il puisse en être ainsi dans des machines à mouvement aussi rapide que les locomotives, et les résultats comme dépense de vapeur auxquels arrive M. Ledoux par cette méthode, résultats à notre avis très-inférieurs aux chiffres de la pratique nous confirment dans cette opinion, que nous croyons pouvoir justifier plus loin.

Il n'est pas étonnant qu'en présence des phénomènes multiples et d'effets contraires qui se passent à la fois dans le cylindre, la variation des poids de vapeur se fasse quelquefois sans continuité et que les diagrammes de poids présentent des ondulations comme dans les figures 2, 3, 4, planche 108.

On a prétendu que ces ondulations provenaient des ondulations produites sur le diagramme des pressions par les effets dûs au ressort ou à la masse du piston de l'indicateur. Il ne semble pas nécessaire de recourir à cette explication; on comprend aisément que la vaporisation de l'eau condensée peut se produire avec quelque irrégularité et par soubresauts, comme celle que l'on détermine sous le piston de la machine pneumatique et celle qui se produit dans le réservoir d'eau chaude des machines dites *sans feu*[1]; il n'y a rien là que de très-admissible surtout dans une machine en mouvement de translation rapide, où l'eau accumulée parfois en masse à la partie inférieure des cylindres se trouve agitée et roulée sur les parois.

1. On peut constater journellement un phénomène de ce genre dans les syphons d'eau

Digitized by Google

Nous avons montré qu'il y a toujours de l'eau dans les cylindres; la présence de cette eau rend très-faciles à expliquer les phénomènes qui se passent. En effet, on comprend très-bien que des surfaces métalliques polies qui ne rayonnent que faiblement à leur état naturel puissent émettre énergiquement, recouvertes d'une couche infiniment mince de rosée, de même que les parois polies d'un cube de Leslie en laiton rayonnent du calorique lorsqu'on les vernit avec un gaz ou une vapeur à pouvoir émissif considérable (expériences rapportées par M. Tyndall).

Nous avons vu également que l'eau contenue au cylindre et provenant soit de la chaudière même[1], soit de la condensation pendant l'admission, se vaporise pendant la détente et détermine l'exhaussement de la courbe des pressions. Mais il est facile de voir que l'utilisation de cette vapeur n'est pas bonne, et que le travail produit n'est pas en rapport avec la chaleur dépensée. On a vu, en effet, qu'il ne se vaporisait qu'une partie de l'eau condensée et que celle-ci augmente toujours. Quant à l'eau entraînée, supposons qu'elle se vaporise à une température moyenne entre les températures extrêmes de la détente. 1 kilogramme d'eau tombant de 170,8 degrés (8 atmosphères) à 100 degrés, pourra donner naissance à $0^{k},129$ de vapeur à une pression moyenne de 3,15 atmosphères.

Quel sera le travail effectué par la détente de cette vapeur de 3,15 à 1 ?

Les 129 grammes de vapeur représentant $\frac{0^{k},129}{1.78} = 0^{mc},0725$, le travail sera :

$$T = 0,0725 \times 3.15 \times 10330 \times \text{Log. } 3.15 = 2760^{kgm},$$

la chaleur dépensée étant 172,9 calories, chacune n'a produit que 16 kilogrammètres, au maximum, car nous n'avons pas tenu compte de la contre-pression; ce rendement est très-défavorable, puisque dans les machines pratiques, à raison de 12 kilogrammes de vapeur par cheval, une calorie rend $\frac{270\,000}{12 \times 650} = 34,6$ kilogrammètres, soit plus

de Seltz, où l'émission du gaz de la masse liquide se fait brusquement, lorsque la pression a déjà notablement baissé dans l'intérieur, par suite de la sortie de l'eau.

1. L'eau entraînée hors de la chaudière l'est sous deux formes distinctes, sous celle d'eau vésiculaire intimement mélangée avec la vapeur et en proportions relativement modérées, et sous celle d'eau liquide extraite par les projections ou ébullitions dont la proportion est quelquefois très-considérable; les Anglais distinguent ces deux espèces d'entraînements par les expressions de *spray* et de *priming;* la seconde est plus nuisible, d'abord parce qu'elle est plus abondante et aussi parce qu'elle reste en masse au fond des cylindres dans les meilleures conditions pour absorber et resorber le calorique, au lieu de demeurer en suspension dans la masse de vapeur.

Digitized by Google

du double. La dernière colonne du tableau P donne le travail proportionnel pour l'unité de poids de vapeur suivant les diverses lois de détente. On voit que les formules théoriques conduisent à un rendement bien supérieur au rendement réel.

On a vu que sur le diagramme des poids il y a généralement, au moment de la fermeture à l'admission, un point d'arrêt dans l'accroissement du poids de vapeur présent au cylindre. Il y a des cas (fig. 14, pl. 107) où on ne constate pas ce point d'arrêt. On peut expliquer ce fait par l'étranglement qui a précédé la fermeture et déterminé une sorte de détente dès le commencement de la course; il se fait alors une condensation sur les parois et une vaporisation dans la masse de vapeur, et le diagramme enregistre la différence de ces deux effets, c'est-à-dire dans l'espèce, un accroissement continu du poids de vapeur.

La détente théorique cesse au moment de l'ouverture de la lumière à l'échappement; mais comme cette ouverture a lieu progressivement, la pression ne décroît pas brusquement, et il se fait un prolongement de détente jusqu'à la fin de la course. Sans cette circonstance favorable, l'avance à l'échappement augmentant à mesure que la période d'admission est plus courte, tout au moins avec le mode de distribution employé sur les locomotives, la durée maxima de la détente absolue serait très-réduite sur ce genre de machines.

Nous devons nous reporter maintenant à la période d'échappement pour suivre le mélange d'eau et de vapeur dans ses évolutions.

3° ÉCHAPPEMENT.

Comme on vient de le voir, l'échappement dans les locomotives commence souvent bien avant que le piston soit à fin de course; il peut commencer à la moitié de la course avec des admissions extrêmement réduites; il constitue alors une prolongation de la période de détente, et l'évaporation de l'eau contenue au cylindre se continue. Mais comme une partie de la vapeur sort du cylindre, le diagramme des poids ne peut plus donner d'indications sur le poids de vapeur qui continue à se former par l'évaporation de l'eau. Nous avons déjà dit qu'il nous paraît difficile d'admettre que si à la fin de la course la pression est devenue égale à la contre-pression, toute l'eau est évaporée et qu'il n'y a plus que de la vapeur saturée.

Digitized by Google

Contrairement à ce qui se passe pendant la détente, pendant la période d'échappement proprement dit, la vapeur qui se forme encore ne produit aucun effet utile, elle peut tout au plus gêner l'échappement et accroître la contre-pression. Dans les machines à condensation, la quantité de vapeur formée pendant l'échappement est assez considérable pour qu'on ait pu remarquer que dans des machines sans enveloppe, le vide était plus difficile à tenir lorsqu'on marchait à grande détente que lorsqu'on introduisait davantage.

Dans les machines Compound, au contraire, la révaporisation qui peut se faire au petit cylindre pendant l'échappement n'est pas sans effet utile, puisque cette vapeur va travailler au grand cylindre.

On voit sur le diagramme des poids que certaines courbes accusent pendant l'échappement des ondulations.

Il est probable que ces ondulations tiennent également à des productions brusques de vapeur formée aux dépens de l'eau liquide existant encore au cylindre.

Avant de quitter la question de l'échappement, nous devons signaler un point qui ne laisse pas que d'être spécieux.

La condensation au cylindre pendant l'admission est produite par le refroidissement du cylindre et de l'eau contenue, refroidissement régi en définitive par la différence des températures extrêmes de la chaudière et du condenseur, ce dernier terme étant pris dans son acception la plus générale; il semble donc que ce refroidissement n'a que peu de choses à voir avec le plus ou moins de détente, et qu'il tient surtout à la différence des pressions extrêmes ou plutôt à la chute de température qu'elle détermine. On peut remarquer d'abord que, moins la vapeur s'est détendue, moins elle s'est refroidie, et que par conséquent elle peut, pendant l'échappement, céder de la chaleur; mais il y a une considération bien plus importante, c'est que si on admet que le refroidissement interne est une constante pour un cylindre de dimensions données et pour une même chute de température, la perte de vapeur absolue pourra bien être la même, quelle que soit la détente, mais la perte relative sera d'autant plus grande qu'on introduira moins de vapeur au cylindre, et par conséquent qu'on détendra davantage.

Si, par exemple, la perte de vapeur est de 10 grammes par coup de piston, on aura, pour diverses expansions, les pertes relatives ci-dessous :

Digitized by Google

Tableau Q.

ADMISSION réelle en centièmes.	POIDS apparent de vapeur.	POIDS condensé.	POIDS total.	RAPPORT du poids condensé au poids total.
0,20	20gr.	10gr.	30gr.	0,333
0,30	30	10	40	0,250
0,40	40	10	50	0,200
0,50	50	10	60	0,166
0,60	60	10	70	0,143
0,80	80	10	90	0.111
0,90	90	10	100	0,100

4° COMPRESSION.

Avant la fin de la course de retour, la lumière d'échappement se ferme, et une certaine quantité de vapeur reste enfermée dans le cylindre où elle est comprimée jusqu'à ce que, tout près de la fin de la course, la lumière d'admission s'ouvre pour laisser entrer la vapeur de la chaudière, ce qui ferme le cycle que nous étudions. La compression correspond quelquefois presque à la moitié de la course avec des introductions très-réduites.

La loi de la compression n'est pas plus facile à déterminer que celle de la détente dont elle constitue le phénomène inverse. M. Bauschinger a constaté que la courbe de la compression réelle est au-dessous de toutes les autres, de même que la courbe de détente pratique est au-dessus.

Si au moment de la fermeture de la lumière à l'échappement, il n'y a que de la vapeur saturée dans le cylindre, cette vapeur est comprimée, et si les parois étaient imperméables au calorique, la vapeur se surchaufferait en absorbant une quantité de chaleur correspondant au travail de compression; mais cela n'arrive jamais, et si dans les détentes modérées (fig. 5, pl. 108, et fig. 1, 2, 3, 4, pl. 109) la ligne de compression est sensiblement horizontale, avec les fortes expansions (fig. 14, pl. 107, et fig. 2, 3, 4, pl. 108), le diagramme accuse une condensation très-notable de vapeur.

Digitized by Google

Comment se fait cette condensation? Il est possible qu'elle ait exclusivement lieu sur les parois métalliques du cylindre, mais, d'après ce qui a été déjà exposé, il est bien possible aussi qu'elle s'opère sur de l'eau restée au cylindre. On voit dans certains diagrammes que le poids de vapeur augmente d'abord pour diminuer ensuite rapidement. Dans ce cas, la première chaleur développée par la compression produirait la vaporisation du reste de l'eau vésiculaire contenue dans la vapeur, ce qui justifierait la supposition que nous avons émise plus haut, puis quand cette eau est vaporisée la compression augmente au point de rendre la température de la vapeur notablement supérieure à celle des parois du cylindre et de l'eau liquide encore présente; la condensation se produit et le poids de vapeur diminue rapidement jusqu'à la fin de la course, au moment où l'admission s'ouvre et où la vapeur de la chaudière afflue. Il peut se produire simultanément, à l'inverse de ce que nous avons constaté pendant la détente, vaporisation ou surchauffe dans la masse, et condensation au contact des parois.

On a beaucoup discuté sur les avantages et les inconvénients de la compression. C'est une appréciation inexacte du rôle de ce phénomène qui a fait proposer pour les locomotives les systèmes de doubles tiroirs dont il sera question plus loin et dont le but était en grande partie de permettre de faire de fortes détentes sans compression ou tout au moins avec très-peu de compression.

Les avantages de la compression sont au nombre de trois :

1° Elle diminue la dépense de vapeur dans des proportions assez notables en conservant dans les cylindres une quantité de vapeur qui remplit les espaces neutres et économise en tout ou partie leur remplissage par de la vapeur fraîche. Cette quantité peut être considérable; on voit, sur certains diagrammes de poids, qu'elle peut presque atteindre la moitié de celle qui existe au cylindre à la fin de l'admission, tandis que le travail négatif représenté par la compression est loin d'atteindre cette proportion par rapport au travail total.

2° La compression fournit une quantité de chaleur qui est absorbée par les parois du cylindre et l'eau encore contenue, et qui vient en déduction de la chaleur à fournir par la vapeur fraîche. On peut dire que le travail absorbé par la compression est intégralement restitué en chaleur ou en travail proprement dit.

Doit-on en conclure, comme quelques Ingénieurs, que la compres-

Digitized by Google

sion supprime les condensations pendant l'admission? Il ne faut pas aller si loin.

En effet, si on prend (fig. 14, pl. 107), le travail négatif dans le cylindre, on trouve qu'il correspond à 1100 kilogrammètres en nombre rond, représentant $\frac{1100}{425} = 2{,}6$ calories.

Cette quantité de chaleur correspondrait à la condensation de $\frac{2.6}{455} = 6$ grammes de vapeur en nombre rond.

Or on trouve sur le même diagramme qu'à la fin de l'admission le cylindre contenait 57 grammes de vapeur saturée, et à la fin de la détente 90. L'augmentation a donc été de 33 grammes, ce qui accuse la condensation pendant l'admission d'un poids au moins égal et probablement bien supérieur de vapeur fraîche, la compression ne pourrait donc suppléer qu'à $\frac{6}{33} = 18$ pour cent environ de cette condensation; c'est relativement faible.

3° La compression présente dans les machines à grande vitesse, telles que les locomotives, un avantage très-précieux pour atténuer les chocs des articulations, et les pertes de puissance vive; avec l'avance à l'admission, elle empêche le choc sur le piston qui se produirait au commencement de la course.

Les axes ont toujours en pratique un jeu dans les coussinets. Entre un bouton de manivelle et une tête de bielle motrice, par exemple, le jeu existe en avant du bouton dans le sens du mouvement, lorsque la bielle pousse, en arrière, lorsqu'elle tire, et si le changement de sens du mouvement a lieu à fin de course, lorsque le bouton de manivelle est en repos, le choc a lieu en vertu du jeu, le piston, la tige et la bielle parcourant sans résistance l'espace égal au jeu.

Au contraire, avec la compression, le bouton de manivelle est animé d'une certaine vitesse, tandis que le mouvement du piston et des organes qui lui sont attachés se trouve ralenti par la compression, et le choc, n'ayant plus lieu qu'en vertu de la différence des deux vitesses, se trouve très-atténué.

La compression produit partiellement l'effet qu'on réalise dans certaines machines où l'effort a lieu constamment dans le même sens, par exemple, la pédale du tour au pied et des machines à coudre, les machines à trois cylindres à simple effet du système Brotherhood, où la

Digitized by Google

bielle est toujours sollicitée dans le même sens; ces machines peuvent ainsi fonctionner sans choc à des vitesses très-considérables qu'elles ne pourraient pas atteindre autrement.

En revanche la compression n'est pas gratuite, elle produit une perte de travail absolue qui peut être assez considérable. Les 1100 kilogrammètres que nous avons trouvé tout à l'heure pour le travail absorbé pendant une demi-course donneraient, pour 119 tours par minute :

$$\frac{1100 \times 2}{75} \times \frac{119}{60} = 58{,}5 \text{ chevaux bruts}$$

pour chaque cylindre ; c'est une fraction très-notable du travail total disponible qui avec une ordonnée moyenne effective de $2^k{,}06$, serait :

$$T = 1294 \times 2^k{,}06 \times 0{,}61 \times 2 \times \frac{119}{60} = 6452 \text{ kilogrammètres}$$

ou 86 chevaux; mais il faut remarquer que les 58,6 chevaux du travail résistant doivent être réduits du travail de la contre-pression ordinaire et seraient seulement de la moitié environ, soit 29,3 chevaux, ou 25.5 pour cent du travail total développé par la vapeur.

Le poids de vapeur présent au cylindre à la fin de la compression étant à peu près dans la même proportion par rapport au poids entré pendant l'admission sous forme de vapeur, on voit que la compression économise à peu près ce qu'elle coûte, de sorte que ses avantages calorifiques et mécaniques peuvent être considérés comme gratuits. Elle a, il est vrai, l'inconvénient de réduire le travail absolu disponible, mais, comme, lorsqu'on marche à grande détente dans les locomotives, on n'a pas besoin de produire de grands efforts, cet inconvénient est peu sérieux.

Il est juste de rappeler que l'influence de la perméabilité au calorique des parois des cylindres sur la manière dont s'opère la compression (et aussi la détente) était indiquée, dès 1851, avec une précision remarquable dans le *Guide du Mécanicien*, cet ouvrage classique où tout ce qui concerne la locomotive est traité avec une admirable justesse de vues.

Nous allons maintenant examiner comment on peut trouver la consommation de vapeur relative à l'unité de puissance, le cheval brut développé sur les pistons des machines locomotives.

Digitized by Google

5° CONSOMMATION DE VAPEUR.

Nos collègues se rappellent que la question de la consommation de vapeur par cheval dans les locomotives a été vivement débattue dans les discussions qui suivirent la communication faite à la Société par M. Mékarski, sur son système de traction par l'air comprimé.

On a peu de données sur ce sujet, surtout à cause de la difficulté qu'on éprouve à se rendre un compte à peu près exact de la puissance développée qui est en général très-variable.

Tandis que les uns considèrent les locomotives comme des machines utilisant assez mal la vapeur, et dépensant nécessairement beaucoup, d'autres, au contraire, ont émis à ce sujet les opinions les plus singulières. On pourrait rappeler ici que, dans certaines séances de la Société, il y a déjà assez longtemps il est vrai, un de nos collègues a cru pouvoir démontrer qu'une locomotive à marchandises, système Engerth, ne dépensait que 880 grammes de charbon par *cheval net* et par heure, ce qui aurait mis la dépense par cheval brut à environ 750 grammes, consommation qui n'a été atteinte que tout récemment et exceptionnellement avec les meilleures machines marines Compound à condensation par surface. Ces exagérations tiennent simplement, ainsi que nous avons eu déjà l'occasion de le signaler, à ce qu'on divise la consommation d'une heure par un travail maximum que la machine n'a peut-être réalisé que pendant quelques minutes.

Il est bon de dire tout de suite que des consommations semblables ne sont pas réalisables dans les machines locomotives, car elles sont *inférieures* aux dépenses théoriques.

Il est facile de s'en rendre compte par le tableau ci-dessous qui donne, d'après Zeuner, le poids de vapeur sèche que dépenserait par cheval brut et par heure une machine à vapeur *parfaite*, c'est-à-dire à détente et compression complètes, et le poids de combustible compté à raison de $1^k,0$ pour 8 kilogrammes de vapeur sèche.

Pressions en atmosphères.	1 1/2	3	4	5	6	8	10
Poids de vapeur.....	$33^k,14$	14,91	11,95	10,39	9,41	8,22	7,51
Poids de charbon.....	$4^k,18$	1,86	1,50	1,30	1,18	1,03	0,94

Il n'est pas besoin d'ajouter que la consommation de la machine *parfaite* ne peut être approchée que de loin.

On peut apprécier la consommation des machines locomotives par

Digitized by Google

des expériences directes, comme l'ont fait M. Bauschinger, et dans une certaine mesure MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné; mais en admettant même qu'on puisse déterminer avec une exactitude suffisante le travail moyen développé, et c'est là la grande difficulté, il resterait une cause d'incertitude très-sérieuse, la proportion d'eau entraînée; il est vrai que le résultat obtenu dans ces conditions peut être considéré comme une valeur maximum.

Pour les machines fixes, on peut employer, pour mesurer la proportion d'eau entraînée, la méthode calorimétrique de M. Hirn; mais cette méthode n'a pas été encore appliquée aux locomotives, et il est peu probable qu'elle le soit jamais, tout au moins sur ces machines en mouvement, à cause de la délicatesse des appareils.

On trouvera, dans le mémoire déjà cité de M. Ledoux, les moyens que cet Ingénieur propose pour arriver à cette constatation sur les locomotives, moyens sur lesquels plane, à notre avis, une cause d'incertitude qu'on ne saurait négliger.

Il serait cependant bien à désirer qu'on pût une bonne fois être édifié sur la valeur réelle des entraînements d'eau dans les locomotives.

Dans le tableau K, où nous avons reproduit les résultats généraux des expériences de M. Bauschinger, on voit que la dépense brute d'eau par cheval indiqué et par heure, mesurée au tender, a varié de 11^k,90 à 16,05 kilogrammes pour les machines à distribution ordinaire, soit 14,07 kilogrammes pour la moyenne de 14 expériences et de 15.20 à 20.50 pour les machines à détente Meyer, soit 17.02 pour la moyenne de 12 expériences; la moyenne générale des 26 chiffres donnés dans le tableau étant de 15^k,43.

Avec un coefficient moyen de $\frac{1.00}{0,85}$ pour passer du travail brut sur les pistons, au travail net à la jante, on arriverait pour les premières machines à une consommation de 16.55, et pour les secondes de 20 kilogrammes, soit avec une production de 8 kilogrammes de vapeur[1] par kilogramme de combustible 2^k,07 et 2^k,50.

Ces consommations doivent être considérées comme extrêmement modérées.

Il y a à ce sujet lieu de faire des réserves. Les machines expérimen-

1. Ce chiffre de 8 kilogrammes par kilogramme de combustible est un chiffre fictif, car les expériences de Bauschinger ont donné comme chiffre maximum pour la tourbe 6,27, et moyen 3,92, et pour la houille 6,71 au maximum et en moyenne 6,14.

Digitized by Google

tées par M. Bauschinger ont en général développé peu de travail, la puissance développée n'ayant jamais dépassé qu'exceptionnellement 3 chevaux bruts par mètre carré de surface de chauffe, et la production de vapeur ayant presque toujours été limitée à un taux très-modéré par mètre carré[1]. De plus la plupart des machines étaient chauffées à la tourbe, combustible qui donne une température régulière mais relativement peu élevée. Il est donc permis de croire que la lenteur de la vaporisation devait favoriser la siccité relative de la vapeur (on s'est d'ailleurs appliqué, dans les expériences à marcher avec des niveaux d'eau aussi constants que possible) et que la correction pour la proportion d'eau entraînée serait assez faible; c'est pour cela que nous avons pris un chiffre de vaporisation de 8 kilogrammes pour de la houille, ce qui suppose de la vapeur contenant peu d'eau mélangée et du combustible de bonne qualité.

Enfin, la difficulté principale, comme nous l'avons dit, est d'apprécier assez exactement le travail total auquel correspond la dépense d'eau mesurée. Certains parcours dont la durée atteint, il est vrai, trois heures de fonctionnement, ont exigé le relèvement de 34 diagrammes d'indicateur. Mais malgré les soins et les précautions employés, peut-on répondre que ces 34 diagrammes, relevés en moyenne à cinq minutes d'intervalle, permettent de sommer exactement le travail développé? La méthode employée par M. Bauschinger pour faire concourir la moyenne des pressions observées à la chaudière pendant le parcours total, à l'obtention de la moyenne du travail réalisé, ne nous paraît pas de tout point irréprochable. Ce serait dans des expériences de ce genre qu'il serait utile d'employer les indicateurs totalisateurs de Lapointe et Garnier et de Moseley[2], dont le principe est bien connu.

Les chiffres de dépense d'eau par cheval net, donnés dans le Mémoire des Ingénieurs de l'Est se rapprochent sensiblement, dans beaucoup de cas, du chiffre moyen des expériences de Bauschinger; cependant ils s'élèvent notablement au-dessus, dans d'autres cas, atteignant, par exemple, 25 et même 29 kilogrammes, soit 21,25 et 24,65 kilogrammes

1. Les productions de vapeur par mètre carré qui figurent au tableau K ont été obtenues en divisant la consommation de vapeur rapportée à l'heure par le travail moyen, ce sont donc des productions fictives; les vaporisations constatées expérimentalement ne dépassent pas 35k,37 et descendent à 13k,39.

Il est donc probable que la chaleur emmagasinée dans l'eau était appelée à fournir parfois une notable proportion de vapeur, et qu'on marchait dans ce cas *à l'eau chaude*.

2. *Société des Ingénieurs civils*, année 1873, page 817.

Digitized by Google

par cheval brut, ce qui peut s'expliquer par des conditions exceptionnellement défavorables de fonctionnement, telles que des expansions exagérées ou un entraînement d'eau excessif, tandis que parfois, au contraire, ils descendent à des taux extrêmement bas, 12k,73 et même 11k,03, soit 10k,82 et 9k,38 par cheval brut. Nous considérons ces dernières valeurs comme tout à fait inadmissibles, d'abord parce qu'elles se rapprochent infiniment trop des dépenses de la machine parfaite; et aussi parce qu'elles font exception au milieu de la masse des chiffres qui forment l'ensemble des observations. Mais ces valeurs extrêmes écartées, on peut admettre la concordance générale des résultats de ces expériences avec ceux des expériences de Bauschinger.

La constatation directe de la dépense d'eau est difficile et délicate à faire, sinon en elle-même, du moins par rapport au travail réel effectué dans une période quelquefois assez longue; il faut, en effet, en dehors de la constatation du volume d'eau pris dans les caisses, s'assurer de la variation du niveau d'eau de la chaudière, ce qui est très-délicat, et aussi de la variation de la pression, et introduire, s'il y a lieu, des corrections de ces deux chefs. Aussi cherche-t-on, de préférence, à estimer la dépense d'eau d'après les diagrammes d'indicateur. Seulement, ceux-ci, comme nous l'avons fait observer déjà si souvent, ne donnent que des indications incomplètes, au moins en général, relativement à la dépense réelle de vapeur.

Si on désigne par P le poids d'eau réellement sorti des caisses, par p' le poids estimé sur les diagrammes à la fin de l'admission, p le même poids à la fin de la détente, on aura : $P > p > p'$.

En outre p sera plus grand que p', sauf, comme on l'a vu plus haut, pour les très-faibles expansions.

Il est bien entendu, d'ailleurs, que les valeurs p et p' sont les poids de vapeur présents au cylindre aux périodes indiquées de la course du piston, déduction faite du poids de vapeur présent au commencement de la compression.

Nous ferons remarquer aussi que P est le poids brut d'eau sorti de la chaudière et comprend par conséquent l'eau entraînée avec la vapeur; si on connaissait cette proportion exactement, les rapports dont nous allons parler présenteraient une bien plus grande précision.

Si on désigne $\frac{P}{p}$ par K et $\frac{p}{p'} = K'$, ces coefficients K et K′ pourront servir à déduire P des valeurs p et p', qu'on obtient au moyen des dia-

Digitized by Google

grammes d'indicateur. Ces coefficients varient avec l'expansion de la vapeur comme on peut s'en assurer en consultant le tableau K. On voit que les valeurs de K ont varié de 1.148 à 1.541, c'est-à-dire qu'il faut, à la quantité de vapeur trouvée à la fin de la détente, ajouter de 15 à 54 pour cent pour avoir la dépense réelle, avec l'eau entraînée, il est vrai.

Si on estime cette dernière, ou du moins la quantité qui ne s'est pas vaporisée pendant la détente à 10 pour cent, l'excédant en vapeur sera de 5 à 44 pour cent, suivant l'expansion.

La valeur de $\frac{P}{p'}$, ou, si l'on préfère, l'excédant de P sur p, est dans bien des cas trop grande pour qu'il soit possible de supposer que cet excédant est de l'eau entraînée et non vaporisée pendant la détente ; il faut donc bien admettre qu'il reste de l'eau dans le cylindre à la fin de la détente, eau dont une partie plus ou moins considérable se vaporise pendant l'échappement.

En général, on ne possède pas de courbes d'indicateur ; on peut alors, connaissant la régulation de la machine, le cran du secteur, la pression à la chaudière et la vitesse de rotation, calculer approximativement le poids de vapeur présent au cylindre au commencement de la détente ; on a vu que c'est ainsi que procédaient certains expérimentateurs. Ce procédé conduit sûrement aux résultats les plus erronés, lorsqu'on l'applique tel quel ; toutefois en le corrigeant au moyen du coefficient $K' = \frac{P}{p'}$, on pourrait obtenir des chiffres qui donneraient des approximations suffisantes dans la plupart des cas de la pratique.

L'énorme valeur que peut acquérir le coefficient K' montre quelle erreur énorme on peut commettre en prenant pour dépense réelle de vapeur la dépense apparente au commencement de la détente. En effet, par suite du relèvement de la courbe d'expansion, à cette dépense apparente correspond, par suite de l'addition successive de vapeur que nous avons signalée comme fait caractéristique, un travail bien plus considérable qu'il ne serait sans cette addition, et inversement au travail constaté sur le diagramme, correspond une dépense apparente de vapeur beaucoup plus faible qu'elle ne devrait l'être. Aussi trouve-t-on sur le tableau K des dépenses apparentes de $6^k,07$ et même $4^k,81$ de vapeur par cheval brut et par heure ; alors que la machine parfaite dépenserait de 8 à 9 kilogrammes ; on trouve même des chiffres encore inférieurs, comme on le verra sur le tableau R que nous avons dressé

Digitized by Google

d'après les résultats partiels d'expériences de Bauschinger, pour bien faire voir combien est grande la différence des constatations faites au commencement et à la fin de la détente, cette différence s'annulant pour des expansions très-faibles. La différence des équivalents d'eau devient, dans ce cas, nulle et même négative, comme on l'a déjà indiqué.

La figure 11, planche 107, représente graphiquement la variation par rapport à l'expansion des dépenses de vapeur par cheval au commencement et à la fin de la détente.

Tableau R.

MACHINES.	ADMISSION RÉELLE.	VALEURS MESURÉES			
		à la fin de la détente.		au commencement de la détente.	
		TRAVAIL BRUT par kilogramme de vapeur.	DÉPENSE de vapeur par cheval.	TRAVAIL BRUT par kilogramme de vapeur.	DÉPENSE de vapeur par cheval.
		kilogrammètres.	kg.	kilogrammètres.	kg.
A.	0,20	26,700	10,11	86,100	3,14
	0,34	26,400	10,23	40,800	6,62
	0,46	24,900	10,84	29,200	9,24
	0,54	23,700	11,39	26,100	10,23
	0,59	22,200	12,16	24,600	11,00
	0,75	19,800	13,64	19,500	13,85
B.	0,79	16,800	16,00	16,800	16,00

Nous ne saurions trop exprimer le vœu de voir se répéter des expériences du genre de celles de Bauschinger, mais comme ces expériences sont très-difficiles à exécuter, il semble qu'on obtiendrait des éclaircissements déjà bien satisfaisants en opérant dans la voie suivie par M. Grimburg, c'est-à-dire en faisant fonctionner sur place une locomotive convenablement calée sur des chantiers.

On ferait tourner les roues à des vitesses différentes et exactement mesurées en absorbant le travail par des freins convenablement serrés et bien arrosés, comme des freins de Prony; on relèverait très-fréquemment des diagrammes d'indicateur et on mesurerait l'eau dépensée. On obtiendrait ainsi des indications très-précieuses sur le fonctionnement de la vapeur à des vitesses et des introductions variables, et des comparaisons intéressantes entre les divers systèmes de machines, par une méthode analogue à celle qu'on a employée au chemin de fer du

Digitized by Google

Nord, il y a quelques années, pour étudier la vaporisation dans les chaudières de locomotives. Il serait facile d'imaginer des installations permanentes, très-commodes pour ce genre d'expériences, que nous serions heureux de voir pratiquer dans les grandes Compagnies de chemins de fer.

Avant de passer à l'examen des divers moyens qu'on a proposés pour réduire la consommation de vapeur des machines locomotives, nous croyons devoir résumer les conclusions qu'on peut tirer de l'étude du fonctionnement actuel de ces machines :

1° La dépense apparente de vapeur, mesurée par le volume introduit sous une pression connue, est toujours inférieure à la dépense réelle de vapeur même sèche, et doit, pour y correspondre, être affectée d'un coefficient supérieur à l'unité, et dont la valeur croît rapidement avec le taux de l'expansion.

2° On peut estimer aux environs de 14 à 16 kilogrammes la dépense de vapeur dans un état de siccité ordinaire, nécessaire pour produire un cheval pendant une heure, dans des conditions moyennes de fonctionnement et sans exagération de détente.

3° L'exagération de l'expansion augmente rapidement la valeur de la différence entre les poids apparent et réel de vapeur dépensée pour l'unité de puissance, de sorte qu'il y a une limite, un peu variable d'ailleurs, au delà de laquelle, on dépense d'autant plus de vapeur qu'on introduit moins longtemps, sans vouloir préciser absolument cette limite, on peut dire que, dans les locomotives actuelles, il n'y a guère d'intérêt à réduire l'admission à moins de 40 à 45 pour cent de la course.

4° La vitesse de fonctionnement ne paraît pas avoir d'influence sensible, ni en bien, ni en mal, sur le rendement de la vapeur, tout au moins avec des proportions de passages convenables et dans les limites de vitesse usitées généralement, soit entre 100 et 200 tours par minute.

5° Les améliorations à poursuivre dans les machines locomotives consistent essentiellement dans les moyens de réduire la valeur des coefficients $\frac{P}{p}$ et $\frac{P}{p'}$, qui affectent la dépense apparente de vapeur et non dans la diminution de cette dépense apparente qui est tout à fait fictive.

Il est, d'ailleurs, évident que ces perfectionnements doivent, à cause même de la nature spéciale des machines dont il s'agit, satisfaire à certaines conditions.

Le journal *Engineering*, dans un article consacré à ce sujet, paru en

Digitized by Google

novembre 1871, tout en paraissant peu favorable en principe aux perfectionnements apportés aux locomotives, dans un but économique (*fuel-saving*), en général médiocrément apprécié en Angleterre, du moins pour les chemins de fer, établissait fort justement qu'il n'est pas possible de poser la question d'une manière absolue.

Il faut, pour justifier une dépense d'installation destinée à réduire la consommation de combustible, que l'intérêt et l'amortissement de cette dépense calculés à raison de *quinze pour cent* environ, soient inférieurs à l'économie annuelle réalisée sur la dépense de combustible.

Sur la plupart des chemins de fer anglais, cette dernière est assez faible pour exiger une économie considérable ou une dépense très-modérée. Il y a cependant des exceptions, par exemple, sur le *North-London* et surtout sur le *Métropolitan* où le parcours kilométrique annuel (*mileage*) de chaque machine est élevé et le combustible (de choix à cause de la fumée) très-coûteux.

Nous avons dressé le tableau ci-dessous donnant pour ces chemins, ainsi que pour la moyenne des chemins de fer français, la dépense de transformation ou d'installation des machines qu'on pourrait se permettre dans les divers cas.

Tableau S.

CHEMINS DE FER.	DÉPENSE ANNUELLE de combustible par machine.	ÉCONOMIES RÉALISÉES.	DÉPENSE MAXIMA possible d'établissement.
Moyenne des chemins de fer anglais.....	3550fr	10 % 20 25	2366fr 4732 5916
North-London.....	6600	10 20 25	4440 8880 11000
Metropolitan.....	13200	10 20 25	8880 17760 22200
Moyenne des chemins de fer français.....	6000	10 20 25	4000 8000 10000

Nous rappelons, d'ailleurs, que l'économie absolue de combustible n'est pas toujours la seule mesure de l'avantage pouvant résulter de

Digitized by Google

dispositions économiques, et que, si des arrangements supprimant *absolument* la dépense de combustible pouvaient être, en définitive, quelquefois trop coûteux d'emploi, inversement il pourrait arriver qu'on eût intérêt à employer des dispositions économiques, alors même que le combustible ne coûterait absolument rien, par exemple, pour permettre les longs parcours sans renouvellement d'approvisionnements, comme nous l'avons indiqué au commencement de ce travail.

V. — Des moyens proposés pour améliorer l'utilisation de la vapeur dans les locomotives.

On a proposé divers moyens pour améliorer l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives.

Ces moyens sont, en général, analogues à ceux qui ont été employés pour les autres genres de machines à vapeur, mais quelques-uns empruntent un intérêt spécial aux particularités de fonctionnement des machines qui nous occupent. Ils appartiennent, d'ailleurs, à des ordres distincts, suivant qu'ils cherchent à combattre des défauts mécaniques ou géométriques, ou bien des défauts physiques.

PREMIÈRE CLASSE.

On ne trouve guère dans cette classe que les modifications proposées aux systèmes de distribution employés dans les locomotives; mais il y en a une quantité. Nous nous bornerons à citer les anciennes distributions à doubles tiroirs d'Edwards, de Meyer, de Gonzenbach, de Delpech, la distribution de Polonceau, celle plus récente de Guinotte; parmi celles à simple tiroir, celle de Déprez, etc.

Il n'est pas question, bien entendu, des systèmes qui ont seulement pour but, soit de simplifier les distributions, soit d'en améliorer l'arrangement au point de vue de la construction, de la durée, etc.

L'idée générale qui dominait était de faire des mécanismes permettant la variation de l'admission au cylindre, sans entraîner de modification notable des autres phases de la distribution, notamment de l'avance à l'échappement et de la compression, et sans réduire sensiblement l'ouverture maxima des lumières; le but c'était d'augmenter l'utilisation de la vapeur en atténuant certaines pertes auxquelles on attribuait une grande importance, et aussi d'accroître l'expansion réa-

Digitized by Google

lisable, expansion que nous avons vue limitée à un taux insuffisant pour les pressions initiales en usage, avec le mode de détente variable universellement usité actuellement.

Il est facile de constater, en effet, qu'avec la variation de la détente par la variation de la course du tiroir, l'arrivée de la vapeur au cylindre est d'autant plus gênée que la durée de l'admission est plus courte.

On nous permettra d'entrer dans quelques détails sur ce point.

Si on établit pour diverses admissions : 1° le volume de vapeur admis au cylindre, volume qui est sensiblement dans le rapport de la fraction de course correspondant à l'admission ; 2° la durée de cette période qui peut être représentée par la portion du cercle décrit par le bouton de manivelle pendant l'admission (cette durée sera la longueur de l'arc α correspondant à une admission égale à $1 \pm \cos. \alpha$), on trouve que le volume de vapeur à faire passer par la même ouverture de lumière dans le même temps, est d'autant moindre que l'introduction est plus réduite ; mais, si on rapporte ce volume à l'ouverture réelle des lumières, on constate que la vitesse de passage doit au contraire être d'autant plus grande que la durée de l'admission sera moindre, il en sera de même dans une plus grande proportion encore de la résistance au passage.

Le tableau T ci-dessous indique les différentes valeurs relatives de la vitesse de passage suivant les divers degrés d'introduction pour une distribution à coulisse renversée.

On comprend donc que tout système de distribution permettant de faire une détente notable sans obliger à réduire la course du tiroir principal, présentera par cela même un avantage assez sérieux.

Tableau T.

ADMISSION en centièmes de la course.	OUVERTURE maxima des lumières.	VOLUME relatif de vapeur introduit.	DURÉE relative de l'admission.	VOLUME relatif passant par unité de temps.	OUVERTURES RELATIVES.	VITESSES relatives de passage.
0,17	5.5	100	100	100	10	100
0,22	6.5	129	116	111	12	92
0,325	9 0	191	144	133	16	83
0,480	13.5	282	183	154	25	61
0,635	21.0	374	219	171	38	45
0,730	29.0	429	245	175	53	33

Malgré cette supériorité théorique, les appareils à double tiroir ont

Digitized by Google

généralement échoué en pratique par leur complication inévitable et la difficulté de les maintenir en bon état; cependant la détente Meyer a été employée en Allemagne jusqu'à ces derniers temps. Mais on a pu constater dans divers cas qu'elle ne donnait aucun avantage sur la distribution ordinaire.

Un essai de distribution par tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement avait été fait par Polonceau au chemin de fer d'Orléans; voici les conclusions du rapport sur ces essais :

« *Avance à l'échappement.* — Par suite du mouvement indépendant de l'admission et de l'échappement, on a pu donner à celui-ci une avance qui ne dépasse pas 7 pour 100 de la course du piston.

« Quoiqu'on ait vu dans les machines précédentes que l'avance à l'échappement est peu nuisible, surtout lorsque la détente est poussée à sa limite, il est bon de ne pas négliger la suppression de cette perte, lorsqu'il arrive, comme dans cette distribution, que cela n'entraîne aucune conséquence fâcheuse.

« *De la compression.* — La compression est constante pour chaque position du levier; elle commence, comme l'avance à l'échappement, à 7 p. 100 de la course du piston. L'examen des diagrammes indique clairement le peu d'importance de son effet nuisible; sa présence est nécessaire à cause de l'avance à l'admission, car, si elle n'existait pas, la vapeur admise pendant cette avance se rendrait directement à l'échappement.

« Comme on le voit, les avantages de cette distribution consistent à supprimer l'effet nuisible résistant de la compression et aussi la perte par l'avance à l'échappement, mais il reste pour inconvénient la perte occasionnée par le volume des lumières. Ce volume est de $3^{dc},5$. Celui engendré par le piston pendant l'admission à la sixième position étant de 22 déc., la valeur de cette perte est de $\frac{3.5}{22} = \frac{15}{100}$.

« Mais comme ces 15 p. 100 agissent pendant la détente et que l'effet de celle-ci est à peu près semblable à celui de l'admission, la perte causée par les lumières n'est que de 15 p. 100 divisé par 2, soit 7,5 p. 100.

« Il est à remarquer que l'effet nuisible de la compression avec une distribution ordinaire, à une admission de 36 p. 100 et avec des lumières comme celles qui existent, n'aurait pas été plus préjudiciable; d'où il résulte que cette nouvelle disposition de distribution n'a donné aucune amélioration comme dépense de combustible, et cela parce que les différentes parties constituant la distribution ont été mal combinées, ainsi qu'on le verra plus loin.

« L'emploi de deux tiroirs, dont l'un pour l'admission et l'autre pour l'échappement, a pour objet de supprimer la perte par l'avance à l'échap-

Digitized by Google

pement et le travail résistant de la compression. On a vu que la perte par l'avance à l'échappement, lorsque la détente est poussée à sa limite, était peu considérable, tandis que la compression correspondante au même degré de détente avait toujours fourni une grande résistance; c'est donc rapporté à ce dernier cas que doit être considéré l'avantage de cette distribution. Dans l'application qu'on en a faite sur la machine 404, on a complétement manqué le but proposé. En effet on n'a, dans cette distribution, poussé la détente que jusqu'à 36 p. 100 d'admission.

« Or, à ce degré de détente la compression ne se fait que légèrement sentir; par conséquent sa suppression n'est d'aucun avantage. Il n'en serait pas de même si elle était appliquée sur les machines où la détente est poussée jusqu'à 18 et même 13 pour 100 d'admission, et où la compression est si nuisible comme il est indiqué dans les tableaux. Dans ce cas on obtiendrait certainement une réduction de 10 à 15 p. 100 de dépense de vapeur. »

En 1858, M. Polonceau appliqua sur une machine à voyageurs du chemin de fer d'Orléans un système de distribution à double coulisse et double tiroir fort ingénieux. Ce système permettait des détentes très-étendues. Malgré ses avantages et sa simplicité relative, il ne s'est jamais répandu[1].

M. Couche, dans son grand ouvrage : *Voie et Matériel roulant des chemins de fer*, dit :

« Qu'une application prolongée a démontré que cette distribution si logique ne donne pas d'économie, et il ajoute : quand une disposition a été abandonnée malgré les puissants motifs personnels qui devaient la recommander, on peut croire qu'elle l'a été à bon escient. »

Les expériences du professeur Bauschinger, faites sur quatre machines locomotives de l'État bavarois, munies de distributions à détente Meyer, ont accusé très-nettement des résultats négatifs.

A la suite de ces expériences, la détente Meyer a été définitivement abandonnée en Bavière.

C'est, du reste, en Allemagne que les détentes à double tiroir et particulièrement la détente Meyer ont été le plus longtemps en faveur. Or, M. Heusinger von Waldeg, dans la dernière édition de son ouvrage: *Handbuch für Specielle Eisenbahn Technik*, ne consacre à ce sujet que trois lignes; mais elles sont significatives :

« La conférence de l'union des chemins de fer allemands recommande

1. Ce système a été appliqué en Allemagne, avec quelques modifications de détail, mais sans grand succès, paraît-il, par M. Krauss, le constructeur bien connu de Munich.

Digitized by Google

l'emploi de systèmes de distribution simples; en conséquence, dit-il, il n'y a pas lieu de s'occuper des distributions à double tiroir. »

Le chemin de fer Grand-Central-Belge a fait, il y a cinq ans, l'application de la détente Guinotte sur une machine à voyageurs, construite par la Société de Couillet, et qui figurait à l'Exposition de Vienne. Cet essai ne paraît pas avoir donné de résultats.

On a essayé également, depuis quelque temps, divers systèmes de commande ayant pour but d'améliorer la distribution des machines par tiroirs simples.

Nous avons même vu attribuer à l'emploi d'un de ces systèmes une réduction de près de 20 pour cent dans la consommation, et cela après expérience. Il nous semble bien difficile qu'une simple modification géométrique puisse produire de semblables résultats, et si c'était exact, que ne serait-on en droit d'attendre d'améliorations d'une portée bien plus considérable.

En somme, on peut dire que l'avantage des détentes à double tiroir est uniquement *géométrique*, et que son emploi ne combat nullement les pertes de l'ordre physique, c'est-à-dire les condensations intérieures. En outre, en atténuant la compression, il augmente la dépense effective de vapeur; il n'y a donc guère de raisons plausibles de recourir à ces appareils plus ou moins compliqués, dont l'entretien est toujours dispendieux. Le même effet peut être obtenu plus simplement comme on le verra plus loin.

DEUXIÈME CLASSE.

Les moyens de l'ordre physique ayant pour but d'améliorer l'utilisation de la vapeur sont au nombre de trois. L'emploi de la surchauffe, celui des enveloppes de vapeur et enfin la détente en cylindres séparés ou fonctionnement *Compound*.

1° *Surchauffe de la vapeur.* — On a cherché à prévenir la condensation pendant l'admission en réchauffant les parois du cylindre sans déterminer de liquéfaction de la vapeur, pour éviter la production d'eau qui, par sa revaporisation ultérieure, refroidit les mêmes parois, ce réchauffement étant déterminé par l'abandon de la chaleur que la vapeur pouvait posséder au-dessus de son point de saturation.

L'emploi de la surchauffe a surtout été fait dans les machines fixes

Digitized by Google

et marines. L'effet ne peut en être que très-modéré, car il est difficile de pousser la température assez haut à cause de l'effet fâcheux de la vapeur surchauffée sur les garnitures et les pièces mobiles. Ainsi, de la vapeur à 180° contient par kilogramme 661.4 calories; la surchauffe même a 225 degrés, ce qui est une température probablement déjà nuisible ne lui ajouterait que 0,48 (225 — 180) = 21.60, c'est-à-dire de quoi vaporiser à la température de 180° $\frac{21.60}{661.4 - 180} = 0.045$, soit 4 1/2 pour cent de son poids. On voit que c'est insignifiant.

M. Hirn, qui avait prôné les avantages de la vapeur surchauffée, a dû reconnaître que son emploi ne suffisait pas à prévenir les condensations au cylindre. Il admettait volontiers des condensations modérées contre les parois, dans le cas de la vapeur saturée, mais il ne croyait pas que la vapeur surchauffée pût se condenser, alors qu'elle apportait un supplément notable de calorique.

Or M. Leloutre a constaté que la vapeur même surchauffée se condense dans le cylindre (*Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur*, Société industrielle du nord de la France). Il conclut que la vapeur surchauffée perd, non-seulement tout le calorique de la surchauffe, lorsqu'elle est entrée dans le cylindre, mais qu'une portion même doit se condenser, et cela par suite de refroidissement contre les parois.

L'emploi de la surchauffe a été fait sur une très-grande échelle dans les machines marines avant l'adoption du fonctionnement Compound; il n'a pas empêché cette adoption, et il est à peu près abandonné actuellement. Les appareils surchauffeurs qu'on adaptait aux chaudières étaient coûteux et quelquefois encombrants, leur usure était extrêmement rapide et leur usage par conséquent onéreux.

La surchauffe était possible dans ce genre de machines, parce que la quantité d'eau entraînée par la vapeur était modérée; mais dans les locomotives où la proportion d'eau est considérable, il faut d'abord vaporiser cette eau avant de songer à surchauffer la vapeur, et ce n'est pas peu de chose. Il faudrait des surfaces énormes; il n'est donc pas étonnant que les essais d'appareils surchauffeurs ou plutôt sécheurs qu'on a fait plusieurs fois, notamment au chemin de fer du Nord, n'aient donné que des résultats insignifiants. Il ne semble pas que les recherches dans la voie de la surchauffe proprement dite puissent conduire à des résultats bien importants pour les machines locomotives.

Digitized by Google

Thomas indiquait, dans son cours de machines à vapeur à l'École centrale, vers 1855, qu'on pouvait avantageusement diminuer la proportion d'eau entraînée, en en vaporisant une partie par un abaissement de la pression opéré entre la chaudière et le cylindre. C'est ce qu'on a appelé plus tard la *surchauffe spontanée*. Thomas faisait remarquer qu'une diminution de la pression initiale ne diminuait pas sensiblement le rendement pour des machines à condensation où le rapport de la pression initiale à la contre-pression est toujours très-considérable ; mais il en serait tout autrement pour des machines sans condensation où ce rapport est beaucoup plus faible.

Ainsi, dans une machine à condensation où la contre-pression h est de 0.15, la chute de la pression de la vapeur H de 6 atmosphères à 4.5, laisserait encore la pression égale à 30 fois la contre-pression, et cela avec une chute de température utilisable pour la surchauffe de $159 - 148 = 11$ degrés, tandis qu'avec une pression à la chaudière de 11 atmosphères absolus, il faudrait descendre à 8 pour avoir la même chute relative de température et le rapport $\frac{H}{h}$ ne serait que de 8.

Comme, de plus, la quantité d'eau entraînée dans les locomotives est toujours considérable, la proportion qu'on pourrait enlever par la surchauffe spontanée due à une chute de pression comme celle que nous venons de supposer, serait tout à fait insignifiante.

Prenons par exemple 1 kilogramme d'un mélange de 80 pour cent de vapeur et de 20 pour cent d'eau à 11 atmosphères absolues et 184,5 degrés. Ce mélange, d'après les tables de Zeuner, renferme 530,216 calories pour la vapeur et 37,412 pour l'eau, total 567,628 calories.

Si la pression baisse à 8 atmosphères absolus, sans travail externe, la quantité totale de chaleur ne variera pas ; à cette pression, 1 kilogramme de vapeur contiendrait 658,60 calories, et 1 kilogramme d'eau 172,89, de sorte que la proportion de vapeur dans le mélange devient $\frac{567,628 - 172,89}{658,60 - 172,89} = 0,8128.$

On aura donc supprimé $\frac{20 - 18,72}{20} = 6,4$ pour cent de l'eau contenue dans la vapeur; c'est, comme nous le disions plus haut, tout à fait insignifiant.

Il ne faudrait pas conclure de ce qui précède, que la présence de

Digitized by Google

l'eau est sans inconvénients, mais bien qu'il ne faut pas compter sur des moyens de séchage ultérieurs pour la faire disparaître, il faut tâcher d'éviter son entraînement avec la vapeur et on peut toujours y arriver avec de bonnes proportions de surface de niveau d'eau relativement à la surface de chauffe. On se préoccupe, en général, trop peu des surfaces de niveau d'eau dans les chaudières; on cherche à donner la plus grande surface de chauffe possible sans s'inquiéter du dégagement de la vapeur. Une bonne proportion qu'on peut assez facilement obtenir tout au moins dans les chaudières de dimensions moyennes est de 1 mètre carré de surface de niveau d'eau pour 12 à 15 mètres carrés de surface de chauffe.

On a, d'ailleurs, d'autant moins de chances d'avoir de l'eau entraînée, que la pression est plus élevée, puisque le volume de l'unité de poids de la vapeur qui se dégage est moindre. Nous renvoyons pour cette question aux *Mémoires et Compte rendu* des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 1869, page 483, où on trouvera les vitesses ascensionnelles de la vapeur qu'il ne faut pas dépasser pour que l'entraînement d'eau reste dans des proportions modérées.

2° *Enveloppes de vapeur.* — Il y a un autre moyen de fournir de la chaleur aux parois intérieures des cylindres sans déterminer de condensation de vapeur sur ces parois; ce moyen consiste à chauffer les parois par l'extérieur en transmettant la chaleur à travers l'épaisseur du métal.

Pour faire bien saisir le rôle des enveloppes de vapeur, rôle longtemps mal compris, nous demanderons la permission de reproduire un passage d'une note que nous avons publiée il y a quelques mois dans le journal *Eisenbahn*, au sujet de l'utilité des enveloppes de vapeur dans les machines locomotives.

Le rôle des enveloppes consiste à maintenir la température des parois du cylindre, de manière à éviter au moment de l'admission la condensation *à l'intérieur* de la vapeur nécessaire pour ramener ces parois à la température de la vapeur arrivant de la chaudière; la conséquence funeste de cette condensation à l'intérieur du cylindre est que l'eau qui en provient et qui ruisselle sur les parois se vaporise dès que la pression s'abaisse lors de la détente et même encore pendant l'échappement aux dépens de la chaleur emmagasinée dans le métal et empruntée, bien entendu, à la chaudière. Avec l'enveloppe, le calorique nécessaire pour

Digitized by Google

maintenir les parois du cylindre à la température convenable est toujours fourni par la condensation d'une certaine quantité de vapeur, mais, cette condensation ayant lieu dans l'enveloppe et non dans le cylindre, c'est-à-dire dans un espace à pression *constante* et non *variable*, cette eau, une fois condensée, ne se vaporisera plus en consommant de la chaleur qu'elle va porter inutilement dans l'atmosphère ou au condenseur.

Mais l'action de l'enveloppe s'effectue au moyen de la transmission du calorique à travers une paroi en fonte d'une certaine épaisseur; dès lors plusieurs éléments entrent en jeu : 1° l'étendue de la surface; 2° la différence de température des faces de la paroi métallique; 3° la nature et l'épaisseur de cette paroi; 4° le temps.

Si le troisième élément joue un rôle moindre, mais qui cependant ne peut pas être absolument négligeable, puisqu'il s'agit de parois de fonte de notable épaisseur (15 à 20 millimètres), il y a un autre élément qu'il ne faut pas négliger sous peine de tomber dans une erreur très-répandue, c'est le temps; la transmission du calorique est loin, en effet, d'être instantanée.

Le coefficient élémentaire qui donne le nombre de calories transmises par heure et par mètre carré, par degré de différence de température, dans le cas des enveloppes de vapeur, est assez difficile à apprécier exactement, car il ne peut être assimilé au coefficient analogue convenable dans le cas des chaudières à vapeur, des condenseurs à surface, etc.

Toutefois le chiffre de 200 calories doit être considéré comme un maximum. Nous renverrons à ce sujet à une note très-intéressante publiée sur les enveloppes de vapeur par notre collègue, M. D. Stapfer, dans le *Bulletin de la Société scientifique industrielle de Marseille*, année 1873.

On nous a fait observer que d'après le chiffre de 44 calories par mètre carré et par mètre d'épaisseur donné par Despretz, on serait en droit de prendre un coefficient élémentaire de $\frac{44}{0{,}025}$, pour une paroi de cylindre, soit 1760 au lieu de 200, et que ce dernier chiffre peut paraître arbitrairement réduit.

Il est prudent en pratique de n'admettre les coefficients trouvés dans des recherches théoriques qu'avec des réductions considérables. On peut citer ce qui se passe pour les condenseurs à surface. D'après

Digitized by Google

Peclet, une plaque de cuivre de un millimètre d'épaisseur laisse passer 68,800 calories; et en pratique les condenseurs à surface, lorsque leurs parois sont bien propres, ne laissent passer dans les meilleures conditions et avec une circulation d'eau très-rapide que 2,500 calories, soit moins de 4 pour cent, et bien moins encore lorsque les surfaces sont encrassées.

Revenons à notre exemple.

« Il est sage de dire, rappelle M. Hirn, que les avantages de l'enveloppe sont d'autant plus faibles que la machine fonctionne mieux par elle-même et qu'ils peuvent et doivent varier dans des limites assez étendues et osciller, par exemple, entre 10 et 25 p. 100[1].

« En résumé, les assertions contradictoires sur l'utilité des enveloppes de vapeur et de la surchauffe sont également légitimées par l'examen des cas particuliers considérés, et tout en reconnaissant les avantages qu'elles doivent procurer, il faut avouer qu'elles ne sauraient être appliquées sans examen à la première machine venue. »

Dans une locomotive ayant des cylindres de $0^m,420$ de diamètre, et $0^m,560$ de course, la surface intérieure des cylindres sera à peu près de 1,5 mètre carré. La différence de température entre les deux faces des parois, à peu près nulle pendant l'admission, variera pendant la détente et aura son maximum pendant l'échappement, mais dans cette dernière période l'action utile du réchauffage sera insignifiante; toutefois, pour mettre l'enveloppe dans de meilleures conditions et en admettant qu'il se fera alors une accumulation de calorique dans le métal, nous négligerons cette considération.

Si donc on suppose une température initiale de 175°, correspondant à 8 atmosphères effectifs, une admission de 20 pour cent (cas plus favorable à l'enveloppe qu'une moindre expansion), on trouve que la différence moyenne de température sera de 40° environ pour tout un tour de roues.

Certains auteurs, M. Laboulaye entre autres, admettent que la chaleur communiquée par l'enveloppe est parfaitement utilisée et doit être considérée comme étant à peu près totalement convertie en travail mécanique; nous accepterons cette hypothèse sans la discuter.

On a pour la quantité de calorique transmis par heure :

$$1.500 \times 40° \times 200 = 12,000 \text{ calories},$$

1. M. Hirn a ici en vue les machines fixes et particulièrement les machines à condensation.

Digitized by Google

et le travail correspondant serait :

$$\frac{425 \times 12{,}000}{270{,}000} = 18{,}8 \text{ chevaux bruts.}$$

Ce chiffre n'est pas négligeable comme valeur absolue; mais si on considère que dans les conditions de pression et d'introduction indiquées ci-dessus, la machine, à 2 1/2 tours par seconde, ce qui, avec des roues de $1^m,600$ de diamètre, donnerait une vitesse de 54 kilomètres à l'heure, développerait un travail brut sur les pistons de $\frac{1385 \times 2 \times 3^k,2 \times 2^m,800}{75} = 330$ chevaux.

L'effet de l'enveloppe est donc seulement de $\frac{18.8}{330} = 5.7$ pour cent.

Ce résultat, qu'on doit considérer comme très-exagéré et bien supérieur à ce qu'on obtiendrait en pratique, est assurément très-médiocre; cela tient tout simplement à ce que les cylindres de la machine prise pour exemple développent beaucoup de travail relativement à la surface de leurs parois intérieures. Si la machine au lieu de faire 150 tours par minute, n'en faisait que 50 dans les mêmes conditions de pression et d'admission, c'est-à-dire de différence de température, l'effet absolu de l'enveloppe resterait le même; mais, comme le travail de la vapeur ne serait plus que le tiers, soit 110, l'effet relatif de l'enveloppe triplerait et deviendrait 17 pour cent.

C'est probablement par l'oubli de ces considérations élémentaires que la question des enveloppes est restée pendant longtemps si nuageuse. En effet, on citait des machines où l'enveloppe amenait une économie de 25 pour cent, d'autres où elle ne produisait aucun effet; seulement on oubliait généralement de mentionner les conditions de fonctionnement de ces machines.

Des applications des enveloppes ont été faites sur des locomotives. Ainsi M. Polonceau a mis des cylindres à enveloppe sur la machine à voyageurs n° 93 du chemin de fer d'Orléans.

Voici ce que dit à ce sujet la note autographiée à laquelle nous avons déjà fait des emprunts :

« On a constaté, pour la détente, à peu près les mêmes résultats que pour la machine 94, ce qui prouverait que l'enveloppe aux cylindres a fort peu d'influence sur la détente de la vapeur.

« La compression est plus pernicieuse pour la machine 93 que pour la

Digitized by Google

machine 94, bien qu'elle commence plus tôt pour cette dernière; ceci tient évidemment aux effets de l'enveloppe. En effet, lorsque la compression commence, la vapeur (puisque la contre-pression est nulle) a 1 atmosphère de tension. Si, pendant que cette vapeur est comprimée, elle suivait la loi de Mariotte, elle arriverait, lorsque le piston est à bout de course, à une tension qui ne serait pas moindre de 7 à 8 atmosphères, ce qui n'a pas lieu; elle se condense donc à mesure que sa tension augmente, en abandonnant sa chaleur latente aux parois du cylindre et du piston. Mais comme dans la machine 93 ces parois sont échauffées par la vapeur de l'enveloppe, la condensation est beaucoup moindre que dans la machine 94, ce qui explique les valeurs différentes de la compression pour ces deux machines.

« En résumé, on peut conclure que la distribution de la vapeur se faisant par la coulisse et devant obtenir une détente telle que l'admission soit de 20 à 30 p. 100, l'enveloppe est plutôt nuisible que utile, puisque ses avantages ce réduisent à une petite augmentation de tension sur le piston et que la compression a lieu dans une bien plus grande proportion.

« Il n'en serait pas de même pour une distribution comme celle de la machine 104, où l'admission est indépendante de l'échappement et où, par conséquent, on peut modifier la compression à volonté et même la supprimer. Dans ce cas on peut obtenir les avantages de l'enveloppe et éviter ses effets nuisibles.

« Dans l'emploi de l'enveloppe, on craignait, en principe, qu'elle ne communiquât aux cylindres une température telle que les pistons qui sont animés d'une assez grande vitesse dans les machines locomotives, vinssent à gripper. L'expérience a prouvé que ces craintes n'étaient pas fondées et les pistons de la machine 93 n'ont jamais plus souffert que ceux des machines à cylindres simples.

Il nous a paru intéressant d'étudier la question d'un peu plus près, et de rechercher quelle pouvait être dans le cas de la machine dont il s'agit l'influence de l'enveloppe sur la condensation pendant l'admission, condensation qu'elle est précisément appelée à combattre. Or, cette condensation manifeste son existence et son importance par la différence observée sur les diagrammes entre les équivalents d'eau initial et final.

En relevant ces éléments sur un certain nombre de diagrammes nous avons obtenu les résultats ci-dessous.

Digitized by Google

Machine 93 (*cylindres à enveloppe*).

NUMÉROS des diagrammes.	ADMISSION en centièmes de la course.	EXPANSION réelle.	PRESSION à la chaudière.	NOMBRE de tours.	DIFFÉRENCE des équivalents en fonction de l'équivalent initial.	
57	0,52	1.58	6.50	120	0,043	0,050
54	0,52	1.58	5.35	171.4	0,057	
43	0,42	1.82	5.00	171.4	0,072	0,072
38	0,30	2.25	6.60	80	0,061	0,042
19	0,30	2.25	5.10	171.4	0,022	
16	0,18	2.98	6.20	75	0,222	
10	0,18	2.98	6.10	120	0,196	0,225
4	0,18	2.98	6.00	150	0,258	

On voit qu'en écartant les chiffres relatifs à l'admission à 30 pour cent, qui apparaissent comme une anomalie, les différences sont moindres que dans le cas de la machine 268, page 886, où on trouvait à 18 pour cent d'admission une différence de 33,1 pour cent, au lieu de 22,5, entre les équivalents d'eau final et initial en fonction de l'équivalent final. Il semblerait donc que l'enveloppe n'a pas été absolument sans effet.

M. Maurice Urban, notre collègue, directeur du matériel et de la traction au chemin de fer Grand-Central belge, a appliqué les enveloppes de vapeur sur 27 machines, tant à voyageurs qu'à marchandises : les résultats ont été complétement nuls.

Cependant, à propos de cette application comme, du reste, de la précédente, il y a une observation importante à faire, c'est qu'on ne peut guère conclure contre l'efficacité des enveloppes d'expériences dans lesquelles la circulation de la vapeur dans ces enveloppes était probablement très-imparfaite; les enveloppes ne peuvent produire d'effet sérieux qu'à condition d'avoir un renouvellement actif de la vapeur. Ce fait a bien souvent été constaté sur les machines fixes et marines, et les chemises où la vapeur circule avant d'entrer au cylindre ont bien plus d'action que les chemises de vapeur plus ou moins stagnantes avec purgeur ou retour d'eau à la chaudière.

Les enveloppes sont trop souvent dans les machines disposées d'une façon défectueuse. Il a paru à ce sujet, récemment, dans le journal *Engineering*, d'intéressants articles intitulés *The Abuse of Steam-*

Digitized by Google

Jackets. On y trouvera relatés les conditions auxquelles doit satisfaire une enveloppe de vapeur pour être vraiment efficace. L'auteur anglais signale en passant, comme un exemple des dispositions adoptées, pour ainsi dire, par tradition, le robinet pour purger l'enveloppe d'air placé invariablement à la partie la plus élevée de l'enveloppe, tandis que l'air, qui a toujours à pression égale une densité supérieure à celle de la vapeur, doit tendre à rester à la partie inférieure.

On doit chercher à assurer une circulation très-énergique de la vapeur. Comme nous le disions à l'instant, cette circulation est mieux assurée lorsqu'on fait passer la vapeur dans l'enveloppe avant de l'envoyer à la boîte à tiroir; mais, d'autre part, cette vapeur perd de sa pression, et surtout comme elle ne peut produire d'effet qu'à la condition de subir une condensation partielle, elle renferme plus d'eau en arrivant au cylindre qu'en sortant de la chaudière. Il y a là une objection sérieuse.

Nous avons récemment proposé de donner aux enveloppes, dans les machines fixes ou marines à fonctionnement Compound, une efficacité considérable par la disposition suivante. La vapeur va directement de la chaudière à la boîte à tiroir du petit cylindre, sauf une portion de 15 à 20 pour cent, qui est distraite pour être envoyée directement de la chaudière aux enveloppes de cylindres. Cette vapeur, après avoir produit son effet calorifique, est envoyée dans un appareil de surchauffe, placé à la suite de la chaudière; elle circule dans cet appareil, où elle est séchée d'abord, puis surchauffée au point le plus élevé possible, et de là elle est envoyée dans le tuyau de communication entre les deux cylindres; elle y rencontre la vapeur qui sort du petit cylindre, partage avec elle sa chaleur de surchauffe extérieure et spontanée et va travailler au grand cylindre. Cette vapeur auxiliaire aurait effectué dans le petit cylindre un certain travail, mais il n'y a pas eu de dépense de chaleur en dehors du chauffage des enveloppes, et on gagne probablement beaucoup plus par l'effet énergique des enveloppes et par la chaleur de surchauffe qu'on retire aux gaz de la combustion; il est à remarquer, d'ailleurs, qu'il n'y a pas, dans ce cas, comme d'ordinaire, d'inconvénients à pousser loin la surchauffe, puisque la vapeur surchauffée n'est pas employée seule, mais est diluée dans la masse de vapeur humide. Nous croyons que ce mode d'alimentation des enveloppes, dans lequel la circulation de la vapeur est produite par une différence de pression considérable, donnerait des résultats avantageux.

Digitized by Google

Nous terminerons ce chapitre par un mot sur les enveloppes de gaz chauds. On a vu que dans les expériences de Clark on avait trouvé une notable différence pour les condensations internes entre les cylindres extérieurs et les cylindres intérieurs, qui étaient encore généralement à cette époque renfermés dans les boîtes à fumée.

Ce fait ne semble pas s'être confirmé, et ce mode de protection des cylindres, qui présentait par ailleurs de sérieux inconvénients, a été complétement abandonné. Il est difficile d'admettre que les gaz de la combustion puisse produire un chauffage énergique des cylindres autrement que pendant le stationnement; en effet, la vapeur agit par sa condensation, et, comme nous l'avons fait voir ailleurs, un mètre cube de gaz chauds à 350° ne peut céder aux cylindres que 25 calories environ, alors qu'un mètre cube de vapeur à 10 atmosphères en abandonnera plus de 2,000, soit 80 fois plus.

D'ailleurs, les cylindres, dans le bas de la boîte à fumée, étaient recouverts de cendres et de poussière de coke, les gaz chauds ne circulaient pas autour, et l'effet de rechauffage était assurément très-problématique. Il ne semble donc pas qu'on ait eu grand tort de renoncer à cette disposition, même pour les cylindres intérieurs.

Il y a cependant à ce sujet une observation à faire.

On a vu plus haut que la présence de l'eau initiale joue un rôle très-important à cause de la capacité calorifique considérable de cette eau. Tout moyen de diminuer la quantité d'eau amenée d'une manière quelconque au cylindre aura donc de l'intérêt. Il est bien évident que si le métal des cylindres est porté avant le départ à une température telle que la condensation ne puisse pas avoir lieu à l'arrivée de la vapeur, on sera à l'abri d'une condensation ultérieure due à la présence de cette première quantité d'eau. On peut même affirmer que si on avait de la vapeur peu humide, des cylindres chauffés au départ et peu de détente, on n'aurait pas de condensations sensibles. Il est possible que ces conditions aient pu se trouver plus ou moins complétement réalisées dans certaines machines à cylindres contenus dans les boîtes à fumée. On a vu aussi que dans la machine de l'*Algésiras* l'emploi d'une enveloppe avec circulation d'air chaud avait conduit à de bons résultats économiques. Le mode d'action n'est plus là le même absolument que pour l'enveloppe de vapeur, et si on avait des causes de refroidissement considérable, la chaleur des gaz chauds serait impuissante à maintenir la température du cylindre.

Digitized by Google

Il nous a paru intéressant de signaler les phénomènes qui se passent dans ce cas, et qu'on ne paraît pas avoir généralement bien compris.

En résumé, bien que les enveloppes ne paraissent pas avoir grandes chances de succès dans les locomotives, nous croyons qu'on ne peut guère arguer contre elles d'expériences faites dans de mauvaises conditions, et il y aurait lieu de reprendre la question, si on ne pouvait, comme on le verra plus loin, arriver à des résultats au moins équivalents d'une manière plus commode et surtout plus sûre.

Nous pensons nous être expliqués assez clairement pour qu'on ne puisse nous soupçonner de parti-pris contre les enveloppes de vapeur et la surchauffe, appliquées aux machines en général, accusation qui a été cependant portée contre nous dans des termes assez vifs par une publication technique hebdomadaire, à la suite de nos communications à la Société des Ingénieurs civils. Il est vrai que le même journal nous reprochait aussi *d'ignorer l'usage des hautes pressions*, reproche assurément inattendu, alors que, dans la séance du 2 novembre 1877, notre collègue M. Mékarski demandait, au sujet de la pression de 11 kilogrammes employée sur les machines locomotives du chemin de fer de Bayonne à Biarritz, si on pouvait considérer comme très-ordinaire l'emploi d'une pression aussi élevée.

Il ne nous resterait plus qu'à examiner l'emploi de la détente en cylindres successifs, si depuis quelque temps il ne s'était fait un certain bruit au sujet d'une méthode d'amélioration du fonctionnement des machines à vapeur basée sur la modification de la nature des parois des cylindres. Cette question paraît avoir été, pour la première fois, soulevée en Angleterre, en 1871 ; elle a donné lieu à une polémique dont on trouve la trace dans les journaux *Engineer* et *Engineering* de cette époque. Elle a été reprise ultérieurement tant en France qu'en Belgique sous forme de brevets, et a été exposée complétement, en 1876, dans une brochure intitulée : *Note sommaire sur l'application de la théorie mécanique de la chaleur au perfectionnement des machines à vapeur*, brochure publiée par la Société anonyme belge le *Progrès de Bruxelles*.

Nous allons exposer sommairement le principe de ces perfectionnements. L'auteur, étudiant les phénomènes qui se passent à l'intérieur des cylindres à vapeur, établit que la condensation totale par refroidissement intérieur est approximativement proportionnelle non-seulement aux facteurs universellement admis, le temps, la fraction de

Digitized by Google

la course qui représente la période d'évacuation, la chute de température et la surface intérieure exposée à l'action des températures externes, mais encore à ce qu'il appelle le *coefficient d'absorption* du corps composant cette dernière surface.

Ce coefficient d'absorption est le produit de trois facteurs proportionnels, l'un à la capacité calorifique du métal, le second à sa densité, le troisième à la racine carrée du coefficient de conductibilité intérieure. Si on cherche la valeur de ce coefficient d'absorption pour différents corps, on trouve qu'il est pour la fonte de 22,46, pour le plomb de 4,86 et pour la porcelaine de 1,54. L'auteur de la brochure propose donc de recouvrir de plomb ou de porcelaine les fonds de cylindres et les pistons, et annonce que la moitié seulement des surfaces intérieures étant ainsi modifiées, les condensations intérieures, supposées à 100 pour la fonte, descendraient à 60,8 pour le plomb et 53,5 pour la porcelaine. Avec les deux tiers des surfaces modifiées, le bénéfice serait naturellement encore plus considérable. D'autres inventeurs ont été plus loin, ils ont proposé de faire des cylindres en verre ou en matières céramiques. Un ingénieur américain, bien connu par de remarquables expériences comparatives sur des machines des croiseurs de la douane des États-Unis, M. Emmery, avait déjà constaté sur une petite machine expérimentale que l'emploi d'un cylindre en verre atténuait considérablement les condensations intérieures.

De ce que le système proposé repose sur un principe rationnel, s'en suit-il qu'il soit appelé à réaliser, en pratique, les améliorations si considérables annoncées dans la brochure citée, nous ne le croyons pas. Le journal *Engineering*, discutant la question bien avant l'apparition de cette brochure, se bornait à dire qu'en présence des autres facteurs qui agissaient sur les condensations intérieures, l'influence de la nature du métal disparaissait. Sans contester la valeur de cet argument, il semble qu'il y a autre chose à répondre. D'abord, les parois des cylindres sont, comme on l'a vu, tapissées d'une couche d'eau extrêmement mince, mais qui n'en constitue pas moins la véritable paroi du cylindre, beaucoup plus que le métal lui-même; en second lieu, dans toute machine qui a servi quelque temps, les parois intérieures, autres que les parties cylindriques, qui sont continuellement *raclées* par le piston, sont recouvertes d'une crasse très-dure formée par les graisses et qui acquiert une épaisseur toujours notable, quelquefois considérable. C'est cette couche qui forme la véritable paroi du cylindre.

Digitized by Google

Quels sont la conductibilité, la capacité calorifique et le pouvoir émissif de cette substance ? Peu importe; le seul fait à recueillir, c'est que cette matière sera toujours absolument la même que les fonds de cylindres et les faces des pistons soient en fonte nue ou soient recouverts de plomb, de porcelaine, de verre, etc.; ce sera toujours la même matière qui sera en contact avec la vapeur, même en supposant qu'elle ne soit pas recouverte, comme nous l'avons dit, d'une couche d'eau liquide. Il semble donc bien inutile de se préoccuper de la nature des parois des cylindres, puisque, quelle que soit la nature de ces parois, la force des choses leur substituera toujours invariablement une substance constante, de l'eau et du cambouis, sur une épaisseur assez notable pour que cette substance constitue à elle seule la véritable couche sensible.

La brochure citée donne des résultats très-favorables obtenus dans un essai fait, *le navire amarré au point fixe*, en mars 1876, sur le steamer belge *Baron Lambermont*, à Anvers.

Tout en faisant nos réserves sur les conditions dans lesquelles ont été faits ces essais, auxquels nous préférerions de beaucoup des résultats obtenus dans un essai à la mer, nous nous associerons complétement à l'observation qu'ils inspirent à M. Ledoux, ingénieur des mines, qui discute la question dans sa brochure, déjà citée, *sur la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres des machines*. « Nous n'avons pas, dit cet ingénieur, les éléments nécessaires pour contrôler ces résultats et déterminer dans quelle mesure les améliorations apportées à la distribution et à la mise en bon état des pièces de la machine pendant la réparation qui a eu lieu entre les deux expériences, ont contribué à l'économie signalée. » On peut ajouter que depuis cette expérience, faite en mars 1876, aucun nouveau fait n'a été produit à ce sujet.

Nous citerons pour mémoire des idées originales émises dans une lecture faite à l'Institut de technologie de Massachusetts (États-Unis), en mai 1875, par George, B. Dixwell, dans laquelle l'auteur propose, pour empêcher la condensation au cylindre, de porter les parois à une température telle qu'il y ait *répulsion* entre le métal et l'eau; la température nécessaire ne serait, d'après lui, que de 193 degrés centigrades pour le fer. Il explique par ce phénomène de répulsion l'avantage des cylindres logés dans les boîtes à fumée.

M. Dixwell propose donc des enveloppes d'air chaud ou de vapeur

Digitized by Google

surchauffée, dont la température, variable selon le degré de détente, serait reglée automatiquement au moyen d'appareils qui semblent devoir être très-compliqués et très-délicats.

Il nous reste à étudier l'emploi de la détente en cylindres successifs; c'est cette étude qui constitue la seconde partie de ce travail.

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATION DU FONCTIONNEMENT COMPOUND

AUX

MACHINES LOCOMOTIVES

Le mode de fonctionnement généralement désigné aujourd'hui par l'expression anglaise de *Compound*, faute d'un équivalent précis en français, est caractérisé par l'action successive de la même vapeur dans deux cylindres, ou plus, de diamètres généralement différents, suivant le principe inauguré d'abord par Hornblower, puis par Woolf, dont ce genre de machines a longtemps porté le nom. Mais ce principe a reçu ultérieurement une extension importante par son application aux machines formées de cylindres à points morts *discordants*, c'est-à-dire actionnant des manivelles calées à 90° ou environ, tandis que les machines primitives étaient composées de cylindres à points morts *concordants*, c'est-à-dire dont les pistons commandaient une manivelle unique ou deux manivelles calées à 180°.

Quelques personnes considèrent comme peu justifié et inutile l'emploi de l'expression *Compound*, et trouvent que la désignation de machine de Woolf suffit pour désigner les machines qui emploient la vapeur dans des cylindres successifs. Nous croyons devoir défendre l'expression de Compound, qui indique clairement, à notre avis, la double idée de l'action *multiple* de la vapeur et de l'arrangement *combiné* des cylindres, par opposition à une action et à un arrangement *simples;* d'ailleurs le fonctionnement de Woolf, qui doit s'entendre uniquement

Digitized by Google

des machines ayant des pistons à mouvement parallèle ou opposé, n'est qu'un cas particulier du fonctionnement Compound, et il a l'inconvénient sérieux d'éveiller l'idée d'arrangements relativement compliqués, pour des machines devant se composer forcément de deux appareils à angle droit, telles que la plupart des machines de navigation ou les locomotives.

Le mot de Woolf pouvait et devait suffire tant qu'il n'existait que des machines du premier genre, et encore il eût été plus juste de leur donner le nom d'Hornblower, le véritable inventeur du principe; mais depuis l'emploi devenu général en marine des machines à réservoir intermédiaire et manivelles à angle droit, il était nécessaire d'avoir une expression plus générale. Celle de Compound a le mérite d'être brève et précise, aussi a-t-elle prévalu, et nous croyons qu'il n'y a pas à le regretter. Il n'est vraiment pas plus logique d'appeler machines de Woolf les appareils de locomotives que nous décrivons plus loin, que de désigner sous la qualification de machine de Watt une machine Corliss, par exemple, sous prétexte qu'elle a un cylindre, un piston, un condenseur et une pompe à air.

De tous les moyens proposés pour améliorer l'utilisation de la vapeur dans les machines locomotives, c'est probablement la détente en cylindres successifs qui a généralement été accueillie avec le moins de faveur, soit que son emploi fût dans bien des esprits nécessairement lié, et cela bien à tort, à l'idée de complication, soit surtout parce que l'avantage qui doit en résulter ne peut être apprécié convenablement sans une connaissance complète du fonctionnement intime de la vapeur dans les cylindres, connaissance qui n'est pas encore aussi répandue qu'elle devrait l'être parmi ceux qui sont appelés à se servir de machines à vapeur. Il nous est maintenant facile de faire comprendre de quelle manière la détente en cylindres successifs permet d'atténuer, sinon de supprimer à peu près complétement, les pertes de vapeur par condensation intérieure qui ont été signalées dans la première partie de cette étude. Nous ne traiterons pas ici la question théorique des machines Compound, que nous avons exposée déjà dans un travail inséré dans les *Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, année 1873, pages 821 et suivantes. Nous nous contenterons de rappeler les avantages de ce mode de fonctionnement et d'examiner seulement ce qui concerne spécialement les machines locomotives.

Digitized by Google

On a vu précédemment que les condensations intérieures dans les cylindres, qui sont la cause la plus importante de la différence souvent considérable qui existe entre les quantités de vapeur nécessaires théoriquement et pratiquement pour développer l'unité de puissance, différence qui croît généralement avec la valeur de l'expansion, sont proportionnelles à plusieurs facteurs, parmi lesquels figurent l'étendue des surfaces en contact avec la vapeur et la chute de température effectuée dans le cylindre. Avec la détente en cylindres successifs, ces facteurs, et par conséquent leur produit, sont notablement inférieurs à ce qu'ils sont dans le système ordinaire, pour les mêmes conditions de puissance, de vitesse et de températures extrêmes.

Cet avantage est dû en partie à une simple propriété géométrique, car les surfaces des parois des cylindres, pistons, tiges et lumières, surfaces auxquelles la condensation intérieure est proportionnelle, ne croissent pas aussi rapidement que les volumes engendrés par le piston, volumes auxquels est proportionnelle la puissance ou l'expansion.

C'est ce que nous allons faire voir par un exemple.

On supposera, d'une part, une machine ordinaire composée de deux cylindres de $0^m,400$ de diamètre, $0^m,600$ de course, recevant de la vapeur à 176 degrés, 9 atmosphères, et la rejetant à 100 degrés dans l'atmosphère; de l'autre, une machine formée d'un cylindre semblable au précédent recevant directement la vapeur à la même pression que ci-dessus et la déchargeant à 3 1/2 atmosphères, ou 140 degrés, dans un second cylindre de $0^m,565$ de diamètre et $0^m,600$ de course, qui évacue à 100° dans l'atmosphère. Les deux appareils produiront le même effort moyen, et par conséquent le même travail à vitesse égale de piston, puisque le volume des cylindres de détente est le même dans les deux cas par hypothèse, et théoriquement le cylindre admetteur unique de la machine Compound devra avoir une période d'introduction double de celle de chacun des cylindres de la machine ordinaire.

Nous allons faire le calcul comparatif des surfaces exposées à la vapeur dans chaque cylindre, ces surfaces se composant de la surface cylindrique, du fond de cylindre, de la face du piston, de la moitié de la surface de la tige de piston, et enfin de la surface des parois de la lumière du cylindre.

Digitized by Google

Machine ordinaire.			Machine Compound.		
Surface cylindrique..	75.43				
Fond.....	12.57				
Piston.....	12.57		Cylindre admetteur semblable à celui à côté.		
Demi-tige.....	5.18				
Lumière.....	24.25				
		130.00			130.00
			Cylindre détendeur.		
			Surface cylindrique.	106.50	
			Fond.....	25.07	
			Piston.....	25.07	
			Demi-tige.....	5.18	
			Lumière.....	38.18	
2me cylindre.....		130.00			200.00
		260.00			330.00
			130.00 × 36 =	4680	
260.00 × 76 = 197.60			200.00 × 40 =	8000	
				126.80	

Différence..... $\frac{197.60 - 126.80}{197.60} = 35{,}7\ \%$.

On voit donc que théoriquement la différence serait de plus de 35 pour cent en faveur de la machine Compound.

Il n'en serait pas tout à fait de même en pratique, parce que diverses causes interviendraient pour modifier cette différence ; mais cet exemple n'en montre pas moins clairement le mode d'action de la division en deux parties de la chute de chaleur.

On voit donc que l'expansion dans chaque cylindre peut être limitée à un taux assez faible pour que la différence des équivalents d'eau final et initial soit presque nulle, ou même négative; dès lors, les coefficients k et k' auront une valeur modérée; mais, de plus, la quantité de vapeur, que ne permet pas d'apprécier l'équivalent final et qui dans la plupart des machines ordinaires se vaporise pendant l'échappement sans produire d'effet mécanique utile, et au contraire en accroissant la contre-pression, va dans la machine Compound travailler au grand cylindre. Dans celui-ci, les choses se passeront de même; il pourra bien se produire ce que nous avons vu désigner par l'expression de *refroidissement par le condenseur;* mais ce refroidissement sera réduit, en vertu de la moindre différence de températures qui existe entre les sources extrêmes par rapport aux machines ordinaires, et aussi en vertu de la moindre surface en contact avec la vapeur, surface qui n'est

Digitized by Google

que de 191.90, tandis qu'elle serait de 247.84 pour deux cylindres de volume équivalent au premier. Donc, non-seulement la condensation pendant l'admission sera moindre, mais cette condensation n'aura lieu que sur de la vapeur qui a déjà travaillé au premier cylindre, et par conséquent déjà effectué une portion notable de son travail disponible.

La dépense de vapeur est donc théoriquement la même dans les deux machines, puisque dans la machine ordinaire on introduira, par exemple, à 30 pour cent de la course, tandis que dans la machine Compound l'admission sera de 60 pour cent dans un seul cylindre. Mais la division entre deux récipients de la chute totale de température atténuera l'effet des pertes par condensations intérieures, de sorte que, pour bien tenir compte de ces pertes, il ne sera nécessaire d'employer qu'un coefficient k peu considérable pour la machine Compound; ce sera, par exemple, 1,20 au lieu de 1,80, et l'économie due à la division de la détente entre deux cylindres sera de $\frac{180-120}{180} = 33{,}3$ %.

Il est juste de dire que, d'une part, le relèvement de la courbe de détente dans la machine ordinaire, relèvement dû à la vaporisation pendant l'expansion de la vapeur condensée pendant l'admission, ainsi qu'il a été expliqué dans la première partie de ce travail, et, d'autre part, la perte inévitable éprouvée par la vapeur dans son passage d'un cylindre à l'autre, font que l'effort sera quelquefois un peu plus considérable sur les pistons de la machine ordinaire. Supposons que l'excès soit de 10 pour cent, l'économie due au fonctionnement Compound serait réduite à $33{,}3 \times \frac{100}{110} = 30$ %.

Nous pouvons apprécier cette perte d'effet due au réservoir intermédiaire en comparant les diagrammes d'indicateur pour les deux systèmes supposés fonctionnant avec la même pression initiale et la même expansion totale. C'est ce que représente la figure 7, planche 110. Nous avons pris pour la machine Compound des diagrammes relevés à 70 pour cent d'admission aux deux cylindres sur la machine *Bayonne*, et pour la machine ordinaire un diagramme à 30 pour cent d'admission, ce qui donne à peu près la même expansion totale.

Les ordonnées moyennes sont $4^k,74$ pour le petit cylindre et $1^k,51$ pour le grand cylindre de la machine Compound, et $3^k,55$ pour la machine ordinaire.

Digitized by Google

Les aires correspondantes des diagrammes équivalents sont donc :

Machine Compound.	Petit cylindre.....	1.00 × 4.74 = 474	
	Grand cylindre....	2.77 × 1.51 = 418	
			892
Machine ordinaire.....		2.77 × 3.55	987

Différence de surface en faveur de la machine ordinaire $\frac{987 - 892}{987} = 9.42$ °/₀.

Cette perte de surface des diagrammes due à la présence du réservoir intermédiaire existe à un degré bien moindre pour les machines Woolf proprement dites, où les cylindres déchargent directement l'un dans l'autre ; mais cet avantage est, à notre avis, largement compensé par la chute plus grande de température qui s'opère dans les cylindres ; en effet, la pression descend derrière le petit piston presque jusqu'à la pression finale du grand, tandis qu'au grand cylindre la pression initiale est plus élevée que dans la machine à réservoir[1].

Nous ne pouvons donc partager l'opinion qui consiste à attribuer une supériorité de ce chef à la machine à points morts concordants, et nous ne voyons par conséquent pas grande utilité à rechercher des arrangements plus ou moins compliqués pour supprimer les espaces intermédiaires. Le réservoir peut servir avantageusement à recueillir l'eau entraînée avant son entrée au grand cylindre. Somme toute, il est, croyons-nous, impossible de citer un fait qui permette d'attribuer une supériorité économique réelle à une machine Woolf proprement dite sur une machine Compound à réservoir, dans les mêmes conditions de détente et toutes choses égales par ailleurs.

Les figures 3 et 4, planche 109, représentent les diagrammes des poids de vapeur obtenus au moyen des diagrammes d'indicateur relevés sur une locomotive Compound ; on voit que le poids de vapeur contenu au cylindre n'augmente plus après la fermeture de la lumière d'admission, comme cela a toujours lieu lorsque la période d'introduction est prolongée. L'échancrure qu'offre le diagramme du grand cylindre peut s'expliquer par l'intervention de la force vive de la vapeur au moment de la fermeture brusque à l'échappement de l'un des deux côtés du petit cylindre, suivie rapidement de l'ouverture brusque à l'échappement de l'autre côté, alors que le piston du grand cylindre

1. La machine à réservoir a encore une supériorité de la part de l'effet économique de la compression.

Digitized by Google

est animé de sa plus grande vitesse ; cette déformation partielle du diagramme n'a d'ailleurs aucune importance.

On voit sur ce diagramme que la quantité nette de vapeur dépensée par le grand cylindre, c'est-à-dire le poids qui existe au grand cylindre à la fin de la détente, moins le poids qui existe à la fin de l'échappement, diffère très-peu de la quantité dépensée par le petit cylindre, c'est-à-dire du poids présent au petit cylindre à la fin de la détente diminué du poids restant à la fin de l'échappement.

La différence qui, comme nous venons de le dire, est en général minime, représente une portion de vapeur condensée au réservoir intermédiaire et non revaporisée pendant l'échappement. En somme, en comparant les poids de vapeur dépensés par le petit et le grand cylindre et en prenant le plus grand, on aura une valeur qui diffère assez peu du poids de vapeur réellement sorti de la chaudière, et par conséquent les diagrammes d'indicateur donneront pour les machines Compound des aperçus approximatifs de dépense réelle de vapeur qu'ils ne peuvent pas donner pour les machines ordinaires à grande détente.

A côté de l'avantage capital que nous venons de signaler vient s'en placer un autre. Dans la machine Compound, on peut réaliser une expansion totale considérable avec une introduction prolongée à chaque cylindre. Ainsi, avec un rapport de 2.5 entre les volumes des cylindres et une expansion de 1.5 au premier cylindre, on réalisera une expansion totale de $1.5 \times 2.5 = 3.75$, qui, pour une machine ordinaire, exigerait une introduction théorique de $\frac{1}{3.75} = 0{,}266$. De plus, comme on peut faire une détente considérable sans être obligé de réduire l'admission au-dessous de la moitié de la course, les lumières seront toujours largement ouvertes, et l'accès de la vapeur au cylindre se fera constamment dans de bonnes conditions. On peut donc réaliser une bien meilleure distribution avec les appareils simples généralement usités sur les locomotives, et il est possible de dire que le fonctionnement Compound réunit les avantages physiques de l'enveloppe de vapeur et les avantages géométriques de la distribution à doubles tiroirs sans en avoir les difficultés d'application et les inconvénients pour le genre de machines qui nous occupent.

On peut invoquer également, au point de vue mécanique, la plus grande régularité des efforts produits sur les pistons et les

Digitized by Google

mécanismes, et la moindre différence de pression qui s'exerce sur les pistons et les tiroirs, considération importante avec les pressions élevées, qui s'emploient de plus en plus sur les locomotives. Cette modération des efforts et des pressions en dehors de son influence sur la marche *actuelle* des appareils est appelée à en avoir une importante sur leur durée et leur entretien. C'est ce qu'on a constaté d'une manière irrécusable tant sur les machines fixes que sur les machines marines.

Nous avons déjà cité l'exemple de vieilles machines à balancier de Woolf, qu'on rencontre dans les centres manufacturiers de Normandie et qui fonctionnent d'une manière tolérable dans un état d'usure dont ne s'accommoderaient pas des machines ordinaires.

L'application du système Compound à la locomotive consiste dans l'emploi de cylindres admetteurs et de cylindres détendeurs; tant qu'on ne connaissait que la machine de Woolf proprement dite, il fallait employer deux groupes, composés chacun d'un cylindre admetteur et d'un cylindre détendeur, en tout quatre cylindres. L'introduction des machines Compound à points morts discordants a permis de songer à l'emploi de deux cylindres seulement, un admetteur et un détendeur, ou de trois cylindres, un admetteur et deux détendeurs.

On peut donc réaliser l'application du système Compound aux locomotives sous quatre types différents :

1° Quatre cylindres, dont deux admetteurs et deux détendeurs, chacun de ces cylindres ayant un mécanisme particulier. Ces quatre cylindres peuvent actionner le même essieu, et alors, en faisant agir les cylindres du même groupe sur des coudes à 180 degrés, on peut réaliser pour l'essieu moteur des conditions d'équilibre très-satisfaisantes, comme l'ont fait Randolph et Elder pour les machines marines. On peut aussi faire agir chaque groupe de cylindres sur un essieu différent, ces essieux étant accouplés ou ne l'étant pas; dans ce dernier cas, on aurait une machine Meyer ou Fairlie à fonctionnement Compound, ce qui serait une très-bonne disposition, car la complication de l'arrangement serait justifiée à la fois par le principe même du système de machine, c'est-à-dire la flexibilité, et par le fait du meilleur fonctionnement comme machine à vapeur proprement dite.

2° Quatre cylindres disposés par groupes composés chacun d'un cylindre admetteur et d'un cylindre détendeur, disposés en prolonge-

Digitized by Google

ment l'un de l'autre avec un seul mécanisme pour chacun. Ce système, avec des dispositions de détail bien étudiées, surtout pour le passage de la tige commune des pistons entre les deux cylindres, nous paraît le seul praticable pour les puissantes machines où l'emploi d'un seul cylindre détendeur conduirait à des dimensions inadmissibles en pratique. C'est probablement ce mode d'application qui a été le plus souvent proposé; il a l'avantage de conserver la symétrie de l'appareil, et n'a guère contre lui qu'une apparence de complication; mais cette apparence a suffi pour le faire écarter jusqu'ici. Il est toutefois probable que lorsqu'on se sera familiarisé avec le principe du fonctionnement Compound appliqué aux locomotives, on ne craindra pas d'accepter les quatre cylindres lorsqu'il le faudra absolument.

3° Trois cylindres, dont un central admetteur et deux latéraux détendeurs, agissant sur des manivelles, généralement mais non nécessairement calées à 120°. Ce système est séduisant au premier abord; il a été et est encore employé en marine, et on a cru pouvoir l'importer de toutes pièces sur les chemins de fer. On a invoqué à l'appui la machine à trois cylindres de Stephenson, dont on a fort exagéré la valeur, valeur qui en pratique a été trouvée fort médiocre. (Voir *Transactions of the Institution of Civil Engineers*, 1862, page 84.) Après examen un peu attentif, il est facile de voir que de toutes les solutions, à part la première, c'est celle qui se prête le plus difficilement à une installation économique et qui exige le plus de remaniements dans la disposition actuelle des machines; elle est à coup sûr plus compliquée, en réalité, que la solution n° 2. Notre collègue, M. Jules Morandiere, avait proposé, il a y longtemps déjà, l'emploi de trois cylindres fonctionnant dans ce système et dont deux agissent sur un essieu et le troisième sur un autre essieu; cette disposition avait pour but d'éviter l'accouplement.

4° Deux cylindres, un admetteur et un détendeur, commandant des manivelles à angle droit, avec interposition entre les cylindres d'une capacité intermédiaire plus ou moins considérable et d'un appareil spécial permettant de rendre à volonté le fonctionnement de chaque cylindre direct et indépendant. Ce système est le seul qui ait été jusqu'ici appliqué aux locomotives; il va faire l'objet spécial de cette étude, où nous nous proposons principalement de donner les résultats pratiques déjà réalisés. Cette disposition a soulevé de vives objections, mais elle a réussi en pratique, et nous croyons que son emploi n'a de

Digitized by Google

limite que les dimensions à donner au grand cylindre; en allant pour celui-ci à $0^m,54$ ou $0^m,55$, ce qui est, en général, possible pour les machines ordinaires, on aura l'équivalent d'une machine à cylindres de $0^m,38$ à $0^m,40$ de diamètre, et même $0^m,42$ si on consent à réduire un peu l'expansion possible pour bénéficier surtout des meilleures conditions où on la réalise. Sur un chemin de fer étranger où le gabarit de la voie permet plus de latitude, nous avons pu aller jusqu'à $0^m,60$ pour le diamètre du grand cylindre.

On peut dire que l'essai du fonctionnement Compound n'avait jamais été fait sur les locomotives, car le système connu sous le nom d'expansion continue, et appliqué, en 1852, par Samuel à une ou deux locomotives du chemin de fer *Eastern Counties*, n'a qu'un rapport lointain avec le système Compound. On sait que ce système[1] consiste à introduire la vapeur dans un premier cylindre; puis, lorsque le piston est au milieu de sa course, à mettre ce cylindre en communication avec un second, plus grand ou même égal, et dont le piston commande une manivelle à angle droit de la première; la vapeur se détend dans les deux cylindres simultanément jusqu'à la fin de la course du premier, celui-ci évacue alors au condenseur; la détente continue ensuite dans le second cylindre jusqu'à la fin de sa course. Ce système ne présente nullement l'avantage capital du système Compound, car chacun des cylindres reste soumis à la chute totale de température, entre celle de la chaudière et celle qui correspond à l'échappement. Il est, d'ailleurs, compliqué en ce qu'il exige trois tiroirs en mouvement, et un tiroir d'arrêt pour permettre à la machine de fonctionner comme machine ordinaire. Ce système, abandonné une première fois, a été reproduit avec quelques variantes, il y a une dizaine d'années, par MM. Stewart et Nicholson, et appliqué à des remorqueurs de la Tamise; mais, depuis l'emploi de la machine Compound actuelle, il a définitivement disparu, n'ayant plus de raison d'être.

La première application du système Compound à la locomotive a été faite par nous sur trois machines, construites au Creusot, pour le chemin de fer d'intérêt local à voie normale de Bayonne-Anglet-Biarritz.

Le but que nous nous étions proposé de réaliser, en dehors de la question d'économie de combustible, était le suivant. Les machines devaient avoir une partie de l'année et même, dans le reste, une partie

1. Mémoires et Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 1873, page 827.

Digitized by Google

de la journée à faire un travail assez modéré, tandis qu'à d'autres moments il fallait développer une puissance beaucoup plus considérable ; on prévoyait des charges à remorquer variant dans le rapport de 1 à 4 ; de plus, l'existence d'inclinaisons de 15 millièmes sur une notable partie du parcours venait encore augmenter la variation de l'effort de traction. Établir les machines pour le travail maximum et les faire fonctionner presque toujours à pression ou introduction très-réduites eût conduit à de mauvaises conditions de fonctionnement ; on ne pouvait pas non plus songer alors à faire deux types de machines. Nous avons préféré employer un grand et un petit cylindre, faire travailler habituellement la vapeur à détente d'un cylindre dans l'autre, et dans le cas du travail considérable à développer, faire fonctionner les deux cylindres à admission et échappement directs. On peut dire, dès à présent, que la limite du fonctionnement Compound s'est en pratique trouvée plus reculée qu'on ne pensait, et que, sauf quelques cas de charge extraordinaire, on n'emploie le fonctionnement direct que pour le démarrage.

Les machines dont il est question ne diffèrent des machines ordinaires que par l'inégalité de diamètre des deux cylindres et par la disposition des communications entre ces deux cylindres opérées par l'entremise d'un tiroir particulier, désigné à cause de son objet principal sous le nom de *tiroir de démarrage*. Ce tiroir est représenté dans les deux positions pour le fonctionnement Compound et pour le fonctionnement ordinaire, figures 3 et 4, planche 110, tandis que la disposition générale de la machine, en ce qu'elle a d'essentiel, est représentée dans les figures 1 et 2, qui donnent une coupe transversale par les cylindres et la boîte à fumée et l'élévation du côté du petit cylindre. On voit que dans le fonctionnement normal ou Compound, la vapeur n'arrive de la chaudière qu'au petit cylindre, et qu'après avoir agi dans celui-ci, elle passe au grand cylindre par un gros tube qui traverse la boîte à fumée ; du grand cylindre elle s'échappe dans la cheminée.

Mais au départ, pour assurer le démarrage, on renverse la position du tiroir, et alors la vapeur de la chaudière arrive directement sur chacun des pistons et, après avoir agi, s'échappe dans la cheminée. Cette disposition est bien supérieure à celle qui consiste à envoyer tout simplement de la vapeur de la chaudière au grand cylindre ; cette dernière suffit pour les machines marines, qui n'ont pas d'effort à exercer

Digitized by Google

au départ, mais elle serait tout à fait impuissante sur une locomotive, et ne permettrait pas, d'ailleurs, l'augmentation d'effort qu'on s'est proposé dans la disposition adoptée.

En effet, le tiroir de démarrage sert aussi à augmenter la puissance de la machine lorsqu'on a un effort momentané et considérable à exercer, comme sur une rampe par exemple. Ce tiroir est mû par une tige à vis et un volant disposé symétriquement à celui du changement de marche, et sa manœuvre, confiée au chauffeur, ne présente aucune difficulté.

L'avantage de la disposition adoptée est facile à apprécier. Si on suppose deux cylindres ayant, l'un une section de piston de 1, l'autre de 2.5; le travail avec le fonctionnement Compound sera le même que si la vapeur agissait dans un cylindre unique ayant une section de 2.5, mais on dispose d'un effort maximum avec admission directe correspondant à une section de 3.5.

Pour avoir le même effort maximum avec la machine ordinaire, il faudrait un cylindre de 3.5 de section et pour avoir un travail égal à celui qu'on aurait avec la machine Compound en admettant a moitié au petit cylindre, soit à une expansion de $\frac{2.5}{0.5} = 5$ volumes, il faudrait réduire l'admission à $0{,}20 \times \frac{25}{35} = 0{,}14$ de la course environ, ce qui conduirait à de mauvaises conditions, soit pour la distribution, soit pour l'utilisation de la vapeur.

Les dimensions principales des machines du chemin de fer de Bayonne-Anglet-Biarritz figurent au tableau de la page 977.

Depuis l'ouverture de la ligne, 2 juin 1877, jusqu'à ce jour, les trois machines ont parcouru 80,000 kilomètres en nombre rond; si on ajoute à ce chiffre 3,300 kilomètres effectués pendant les travaux et 2,880 kilomètres faits par l'une d'elles au chemin de fer d'Orléans, sur l'embranchement de Villefranche-sur-Cher à Romorantin, on arrive à un total de plus de 86,000 kilomètres, ce qui donnerait pour chaque machine une moyenne de 28,000 kilomètres, mais le parcours se répartissant assez inégalement, par suite de diverses circonstances, entre les trois machines, l'une d'elles doit déjà avoir fait plus de 30,000 kilomètres.

Ce parcours est assez important pour qu'on puisse considérer comme positifs les résultats constatés. Ces résultats peuvent être considérés,

Digitized by Google

relativement à trois ordres d'idées distinctes : 1° allure de la machine; 2° production de vapeur; 3° économie de combustible réalisée par le fonctionnement Compound.

C'est au sujet des deux premières questions qu'il s'était dès l'origine produit des objections sérieuses en apparence, qui avaient fait accueillir par la plupart des ingénieurs de chemins de fer les projets de locomotives Compound à deux cylindres seulement avec une grande réserve, quelquefois même avec une défaveur non dissimulée.

1° Une opinion généralement accréditée était, on peut dire est encore, que la machine ayant deux cylindres inégaux, et le travail de ces deux cylindres ne pouvant être rigoureusement identique, il en résulterait une allure irrégulière et défavorable, soit à la stabilité de la machine, soit à la conservation de ses organes.

Il est juste de dire que d'autres ingénieurs n'attachaient, comme nous, qu'une médiocre importance à cette considération. « La dissymétrie du mécanisme, écrivait M. l'inspecteur général Couche, ne paraît pas incompatible avec une bonne allure de la machine. [1] »

L'expérience a prononcé; non-seulement, pendant le parcours considérable qu'ont effectué les machines du chemin de fer de Biarritz, rien n'a pu accuser une instabilité inférieure à celle des machines ordinaires, mais même les diagrammes relevés au dynamomètre de traction, dans les expériences faites sur le chemin de fer d'Orléans, entre Paris et Choisy-le-Roi, ont indiqué une régularité tout à fait satisfaisante dans l'effort de traction. Il est impossible à un observateur non prévenu, ou tout au moins non influencé par un parti pris ou une idée préconçue, placé soit sur la machine, soit sur les plates-formes des voitures disposées à la façon de celles des tramways, de distinguer à l'allure, la machine d'une machine ordinaire.

Ce fait a d'ailleurs été mis hors de doute par des constatations directes et précises. Dans des parcours effectués au Creusot, dont l'un en présence de M. l'ingénieur en chef des mines du département de Saône-et-Loire, délégué par M. le Ministre des travaux publics, et les autres en présence d'un certain nombre d'ingénieurs français et étrangers, la plupart membres de la Société, les efforts mesurés à l'indicateur ont été à la marche avec introduction directe dans le rapport de 2.47 sur le grand piston, à 1 sur le petit, et dans la marche Compound, dans le

1. *Voie, Matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, page 749.

Digitized by Google

rapport de 1.83 pour le petit à 1 pour le grand. C'étaient, bien entendu, des limites extrêmes. Néanmoins, la marche de la machine était régulière, malgré cette différence exagérée dont les essais avaient précisément pour but de rechercher l'influence.

2° On avait également avancé que la réduction à moitié du nombre des coups d'échappement, dans la machine Compound, diminuerait le tirage au point de rendre insuffisante la production de vapeur. Il semblait cependant que, la dépense de vapeur diminuant par suite de la meilleure utilisation, on pouvait accepter une certaine réduction dans le tirage.

Au point de vue théorique, on pouvait également invoquer les considérations suivantes, empruntées au traité de M. l'inspecteur général Couche [1] :

« Pour une même valeur du poids de vapeur sortant des cylindres, dans l'unité de temps, le poids d'air appelé est constant, quelle que soit la pression de la vapeur et quelles que soient les variations de cette pression. Pendant une course du piston, la pression de la vapeur qui s'échappe, et par suite la quantité écoulée variant à chaque instant, il en est de même de la quantité d'air appelée qui passe par les mêmes phases que la première; mais la quantité totale d'air aspirée par une quantité donnée de vapeur est indépendante de la pression, sous laquelle celle-ci s'écoule et de la loi que suivent ses variations, ou du moins le poids spécifique est seul influencé par ces variations, et cela dans des limites très-étroites. »

L'éminent professeur ajoute que :

« Quand même la machine serait simple (cas des machines Compound à un seul cylindre détendeur), la vapeur serait encore dépensée et l'air appelé d'une manière inégale, sans doute, mais sans interruption complète, ou du moins avec une interruption très-courte, dans le cours d'un tour de roue. »

L'expérience a prouvé que, malgré les dimensions restreintes des chaudières, la vaporisation est dans tous les cas parfaitement suffisante pour les besoins de la machine.

Voici en outre un fait très-concluant. Dans une expérience faite le 16 mai 1877, entre Paris et Choisy-le-Roi, avec la machine n° 3, *Biarritz*, attelée à un train de marchandises composé de 19 wagons formant une charge brute de 204 tonnes, machine non comprise, la vaporisa-

1. *Voie, Matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, pages 257 et 258.

Digitized by Google

tion par mètre carré de surface de chauffe et par heure a été trouvée de 50 litres en nombre rond, à la vitesse de 135 tours par minute en moyenne, vitesse qui n'a assurément rien d'exagéré.

Cette vaporisation est des plus satisfaisantes, d'autant plus que l'échappement n'était pas serré et que rien ne fait supposer un entraînement d'eau différent de ce qu'il est dans la grande masse des machines.

En effet, la surface de niveau d'eau correspond à un mètre carré pour 15 mètres carrés de surface de chauffe et la vitesse ascensionnelle de la vapeur ne serait pour la production de 50 kilogrammes par heure à 10 atmosphères, que de 40 millimètres par seconde, ce qui est très-faible[1].

Ce chiffre élevé de production de vapeur ayant soulevé quelques doutes, il n'est pas sans intérêt d'entrer dans quelques détails sur la manière dont la constatation a été faite.

Pendant tout le parcours de la gare d'Ivry à Choisy-le-Roi, sauf quelques tours de roues au démarrage, la machine a constamment fonctionné au Compound.

L'expérience était conduite par les agents de la Compagnie d'Orléans. Nous n'y assistions que comme spectateurs, et sommes même restés dans le fourgon en Compagnie de M. Henri Paur, de Zurich, notre collègue; mais M. Tresca, Président honoraire de la Société, qui avait bien voulu, sur notre demande, assister à l'essai, est resté tout le temps sur la machine, et a pu contrôler le mode de fonctionnement qui d'ailleurs était tout indiqué, le fonctionnement Compound ayant seul de l'intérêt dans la circonstance.

Le jaugeage direct du volume d'eau sorti des caisses, effectué par MM. Mercey et Noyer, inspecteurs de la traction de la Compagnie d'Orléans, a donné un chiffre de 576 litres, dépensés en 15 minutes, ce qui correspond à 50 litres en nombre rond par mètre carré de surface de chauffe totale et par heure.

Il y a là un fait d'expérience indiscutable qui permet d'affirmer, que la réduction à moitié du nombre des coups d'échappement n'empêche pas la production de vapeur d'être, dans les machines locomotives du chemin de fer de Biarritz, aussi abondante que dans les locomotives ordinaires.

1. Voir Mémoires et Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils, année 1869, page 483.

Digitized by Google

Il est certain que l'échappement annulaire employé sur ces machines, ainsi que l'emploi d'une grille de grande surface, d'un foyer très-vaste et de tubes assez courts, réduisant la résistance au passage des gaz, ont dû avoir une influence favorable sur la production de vapeur, mais ce sont là des moyens dont l'usage est légitime et possible sur des machines neuves.

Pour des machines transformées, on doit admettre que la réduction du tirage, si elle avait lieu, serait compensée par la diminution de dépense de combustible due au meilleur emploi de la vapeur, et cela d'autant plus que cette réduction du tirage sera elle-même, dans une certaine mesure, favorable à la bonne utilisation du combustible.

Comme on le verra plus loin, les machines développent, en service régulier et pendant un temps notable, un travail qui s'élève à 145 ou 150 chevaux et qui atteint quelquefois 180, ce qui fait 3 à 4 chevaux indiqués par mètre carré de surface de chauffe. Ce résultat est très-comparable à celui des machines ordinaires.

3° *Résultats économiques.* — Pour pouvoir juger cette question, il est nécessaire d'entrer dans quelques développements au sujet du travail effectué par nos machines.

Le tracé du chemin de fer comporte dans le sens de Bayonne à Biarritz, une rampe continue de 15 millièmes sur 2,500 mètres environ, et une de 12.5 sur 800 mètres, et dans l'autre sens une rampe de 14.5 sur 700 mètres, avec cette circonstance que cette dernière part presque de la gare de Biarritz et que par conséquent on ne peut compter sur une accumulation sérieuse de puissance vive pour aider à la franchir.

La vitesse moyenne de marche est de 32 kilomètres environ, et la vitesse maxima de 40 kilomètres, la durée du trajet étant d'un quart d'heure y compris une ou deux minutes d'arrêt à la station intermédiaire d'Anglet, et la longueur totale de 8 kilomètres à très-peu près.

Le matériel de transport se compose principalement de voitures d'un type spécial, étudié par notre camarade, M. Carimantrand. Ce sont des voitures à impériale avec escalier intérieur et plates-formes aux extrémités pour l'accès.

Il y a des voitures mixtes avec première, deuxième, troisième classes et bagages, contenant 68 places; voitures mixtes semblables, mais sans compartiment de bagages, contenant 75 places; voitures de troisième classe contenant 92 places. Dans chacun de ces trois types

Digitized by Google

il y a des voitures à impériales fermées et des voitures à impériales ouvertes.

Le poids de ces voitures vides est d'environ 8t,5; on voit que le poids mort par place descend à un chiffre très-bas, puisque dans les voitures de troisième classe il n'est que de 92 kilogrammes. Les voitures, avec chargement complet, pèsent de 13 tonnes à 14t,5.

Comme le chemin n'a pas d'ouvrages supérieurs, il n'a pas été nécessaire de surbaisser les voitures; celles-ci ont 5 mètres de hauteur et présentent une surface transversale de 9.5 mètres carrés; on a dû réduire le diamètre des roues qui est de 0m,92 au roulement, la longueur hors tampons est de 9m,28. Il était nécessaire de donner ces détails pour faire apprécier l'excès de résistance à la traction que doivent présenter ces véhicules par rapport aux voitures ordinaires à voyageurs.

On se sert en outre, provisoirement, de voitures de troisième classe louées au Midi, pesant environ 10 tonnes en charge complète, et des voitures de la même classe, un peu plus petites et plus légères construites à Dax.

Pendant toute la saison d'été, il y a eu 58 et même quelquefois 60 trains par jour, soit, à raison de 8 kilomètres, un parcours total journalier d'au moins 464 kilomètres. Les jours de fête on a fait jusqu'à 84 trains.

Il est assez difficile de connaître le poids moyen des trains, parce que ce poids est très-variable suivant les jours de la semaine et suivant le temps.

On peut estimer que, pendant la saison écoulée, le poids moyen était, les jours ordinaires, de 40 à 45 tonnes, mais certains jours, les lundis, les jeudis, etc., il atteint et dépasse 50 tonnes; les dimanches et même certains jours de la semaine où il y a une affluence considérable de promeneurs la charge s'élève à 60 et même 70 tonnes, on a même atteint quelquefois 85 tonnes. Ces charges représentent le poids du train sans la machine. Il semble donc qu'en comptant sur une charge moyenne de 50 tonnes remorquées, on ne sera pas bien loin de la vérité.

Le combustible employé est, autant que possible, du charbon de Cardiff qu'il est facile de se procurer à Bayonne à bon compte.

Nous avons dû rapporter les quantités brutes de combustible allouées aux machines au parcours kilométrique effectué, sans faire de défalcations, pour allumages, stationnements, etc.; cette manière de

Digitized by Google

compter donne évidemment des résultats trop forts, mais elle a l'avantage de supprimer les incertitudes dues à des répartitions plus ou moins arbitraires. Nous avons, en outre, pris des périodes de parcours aussi longues que possible effectuées par la même machine, dans des conditions de service et d'entretien sensiblement constantes, et avec le même combustible.

La machine n° 3 a, du 29 juillet au 3 octobre, période du service le plus actif, effectué 17,360 kilomètres avec 66,660 kilogrammes de combustible, soit une dépense kilométrique de $3^k,83$.

La machine n° 2 a, dans la même période, effectué 9,128 kilomètres avec 34,610 kilogrammes de charbon, soit $3^k,79$ par kilomètre.

Enfin, la moyenne générale des trois machines, un peu élevée par le service intermittent et le moins bon état de la machine n° 1, dont on s'était servi pour faire les travaux de la ligne, est, pour la période de juillet à octobre, de $3^k,98$ pour 32,392 kilomètres.

Nous devons faire remarquer que les mécaniciens qui conduisent ces machines sont de simples ouvriers ajusteurs, sans apprentissage spécial, et qu'il n'y a pas de primes qui les intéressent à faire des économies. Au contraire, par suite des exigences du service et de l'insuffisance du matériel de traction, chaque machine est conduite alternativement, dans la journée, par deux machinistes, ce qui est une raison de plus pour que les résultats constatés puissent être considérés comme dégagés de toute influence particulièrement favorable.

La consommation moyenne par tonne brute kilométrique, machine comprise, ressort donc en moyenne à $\frac{3^k,98}{69} = 58$ grammes, et est descendue à $\frac{3^k,79}{69} = 55$ grammes. C'est une très-faible consommation, surtout si on tient compte du profil et des conditions de traction.

Nous manquons d'éléments directs de comparaison, puisqu'au chemin de Biarritz on n'emploie que des locomotives Compound; mais on trouve sur les chemins analogues comme profil et comme conditions de service des consommations qui peuvent être utilement mises en comparaison de celles que nous venons de présenter.

Voici quelques exemples :

1° M. Belpaire a fait construire récemment, pour l'administration

Digitized by Google

des chemins de fer de l'État belge et notamment pour le service du chemin de ceinture de Bruxelles, des voitures à vapeur dont la consommation n'est, dit-on, pas supérieure à 2 kilogrammes par kilomètre; la voiture pèse, toute chargée, 16 tonnes; c'est donc 125 grammes par tonne kilométrique brute, soit plus du double de la consommation des machines de Biarritz, sur un profil qui comporte des inclinaisons à peu près semblables, mais dans une bien moins grande proportion. Il est nécessaire de faire remarquer que dans ces voitures à vapeur, il n'y a qu'une paire de roues motrices, et que, par conséquent, la résistance comme machine n'est pas très-considérable.

2° Au chemin de Fougères à Vitré, d'après une note publiée dans les *Annales des Mines*, la dépense minima a été de 106 grammes par tonne kilométrique, sur un profil qui comporte également des rampes de 15 millièmes. Si cette consommation est rapportée à la tonne nette remorquée, la consommation correspondante serait, pour les machines de Biarritz, de 78 grammes, soit une différence de 26 pour 100; si, au contraire, il s'agit de tonnes brutes, la différence sera encore bien plus considérable, et encore est-il probable que la dépense de 106 grammes rapportée plus haut est la dépense nette de parcours, défalcation faite des allumages, stationnements, etc.

3° Au chemin de fer à voie étroite de Turin à Rivoli, qui a fait l'objet d'une communication de MM. Dumont et Joyant, la dépense kilométrique pour l'exercice 1876 est, d'après les comptes rendus officiels du ministère des travaux publics du royaume d'Italie, de 4^{k},586. Les documents renfermés dans ces comptes rendus permettent de trouver le poids du train moyen, qui est de 34^{t},55, y compris la machine, pesant 12 tonnes en charge; la dépense kilométrique par tonne brute ressort donc à 133 grammes au lieu de 60, les deux profils étant comparables.

4° Au chemin de Lausanne à Échallens, également décrit par MM. Dumont et Joyant, la dépense de combustible est en argent, par kilomètre, de 0^{f},266; à Biarritz, elle n'est que de 11,5 centimes; en admettant que le charbon coûte à Lausanne 35 fr. la tonne au lieu de 28 fr. à Bayonne, la dépense des machines d'Échallens tomberait à 22 centimes environ. Il est vrai que le profil sur ce dernier chemin comporte des inclinaisons plus considérables que celles du chemin de fer de Bayonne à Biarritz; mais en revanche le poids des trains y est beaucoup plus faible. Sur la même ligne, on a employé une voiture à

Digitized by Google

vapeur, construite à Winterthur; cette voiture, pesant 16 tonnes pleine, dépensait 2k,50 par kilomètre, soit 156 grammes par tonne kilométrique.

5° M. Ledoux, ingénieur des mines, a publié dans les *Annales des Mines* une notice importante sur l'exploitation des chemins de fer industriels. Il cite les chemins de fer à voie étroite d'Ergasteria, de Mokta-el-Hadid, de Mondalazac, de Cissous, Saint-Léon, etc. Sur ces chemins de fer les dépenses kilométriques varient de 7 à 15 kilogr., et presque sur tous le trafic a lieu à la descente.

Nous n'insisterons pas sur cet exemple, parce qu'on pourrait nous objecter qu'il s'agit d'un matériel spécial différant complétement d'un matériel à voyageurs. Nous engageons toutefois ceux de nos collègues que la question intéresserait à consulter le travail de M. Ledoux.

6° Un exemple qu'on peut citer utilement, c'est la consommation des machines *haut le pied*, c'est-à-dire circulant seules.

D'après M. Couche, il est alloué pour ce genre de parcours les quantités suivantes qui, rapportées aux poids de machine et de tender, donnent les dépenses ci-dessous par tonne kilométrique brute :

Machine Crampton, pesant	45 tonnes	5k,5,	soit 122 gr.	par tonne kilom.
— à roues libres. . .	40	5k,5,	137	—
— mixte.	50	6	120	—

On peut objecter que les consommations réelles sont inférieures aux allocations; mais comme, d'autre part, on défalque les allumages, stationnements, etc., qui sont compris dans le chiffre de 58 grammes des machines de Biarritz, l'équilibre est rétabli et la comparaison possible.

Cependant, si le mode d'évaluation ci-dessus éveillait des susceptibilités, comme ne tenant pas compte de l'influence prépondérante de la résistance propre de la machine, nous pourrions le modifier en affectant le poids de la machine d'un coefficient de 2.5, et celui du tender ou du train d'un coefficient de 1 ; dans ce cas, les chiffres proportionnels de consommation deviendraient :

	Charge corrigée.	Consommation proportionnelle.
Machine Crampton.	82	66
— à roues libres. . .	73	76
— mixte.	95	63
— Biarritz.	100	40

Digitized by Google

On peut ajouter qu'il y aurait à tenir compte de la différence des profils qui sont au désavantage de la dernière machine.

Il est intéressant de faire remarquer, comme résultat absolu, que les machines de Biarritz consomment pour un trajet simple 32 kilogrammes de combustible, ce qui, à 28 francs la tonne, représente une dépense en argent de *quatre-vingt-dix centimes*, pour transporter à 8 kilomètres un nombre de voyageurs qui dépasse quelquefois *quatre cents*. C'est un exemple remarquable de l'économie réalisée dans les transports par l'emploi des moteurs mécaniques.

Nous avons cherché à nous rendre un compte approximatif de ce que pouvaient représenter ces consommations de combustible, rapportées à la puissance développée.

La résistance à la traction, calculée par la formule des Ingénieurs de l'Est, si on remarque que la surface résistante des voitures de Biarritz est de 9,5 mètres carrés, donnerait pour une vitesse moyenne de 33 kilomètres à l'heure.

$$R = 1.80 + (0{,}08 \times 33) + \frac{0{,}009 \times 9.5 \times \overline{33}^2}{50} = 6^k{,}12.$$

En tenant compte de la résistance due à la gravité sur le profil du chemin, pour un double parcours, on trouve un chiffre moyen de $2^k{,}15$, soit une résistance moyenne totale par tonne de $8^k{,}27$ sans compter la résistance due aux courbes de 400 mètres.

Nous prendrons pour la machine une résistance de 12 kilogrammes par tonne[1] qui se justifie parfaitement; en effet la machine Biarritz a donné au dynamomètre, à la vitesse de 30 kilomètres environ, une résistance totale à la traction de 185 kilogrammes, soit $9^k{,}5$ par tonne; on admettra bien que les résistances additionnelles dues au travail de la vapeur dans les cylindres, et aux pressions qui en résultent sur les essieux et les pièces du mécanisme doivent porter la résistance totale pour la machine fonctionnant à 12 kilogrammes par tonne.

En prenant la moyenne de $3^k{,}98$ par kilomètre, il est juste, puisqu'il s'agit d'évaluer la consommation comme machine à vapeur proprement dite, de défalquer le *quantum* dépensé par l'allumage, soit à raison de

1. Si nous employons ici un mode de calcul que nous avons signalé comme illogique (la résistance de la machine rapportée à son poids), c'est simplement pour présenter l'évaluation faite à la manière ordinaire; nous maintenons toutes nos réserves à ce sujet.

Digitized by Google

100 kilogrammes pour deux machines faisant ensemble 464 kilomètres par jour $\frac{100}{464} = 0^k,210$. La dépense réelle correspondant au parcours, serait donc seulement de $3^k,77$.

Avec les données qui précèdent on obtient le résultat suivant :

50 tonnes de train à $(6^k,12 + 2.15) = 413^k.5$
19 tonnes de machine $(12^k + 2.15) = 268^k.8$

Total $= 682^k.3$ d'effort de traction.

Soit un travail par kilomètre de 682,300 kilogrammètres.

On produit donc $\frac{862,300}{3.77} = 181,000$ kilogrammètres par kilogr. de charbon.

On dépense alors $\frac{270,000}{181,000} = 1^k,49$ de charbon par cheval brut et par heure.

Le travail développé, en tenant compte des résistances appréciées comme ci-dessus et de la vitesse moyenne de marche, conduirait à un travail de 84 chevaux en nombre rond, qui devrait être augmenté pour tenir compte de l'influence des courbes de 400 mètres de rayon et de la dépense de puissance vive employée à porter rapidement le train à sa vitesse normale, laquelle force vive est en grande partie reprise inutilement par le frottement des freins lors du ralentissement et de l'arrêt. En effet, le travail mesuré à l'indicateur sur les pistons dans des conditions de pression et d'introduction semblables à celle de la marche moyenne, accuse un travail bien supérieur.

La dépense par cheval brut et par heure ressortirait donc à

$$\frac{3.77 \times 33}{84} = 1.475,$$

et diminuerait encore si au lieu de la dépense moyenne des trois machines on prenait la dépense des machines 2 et 3, qui est notablement inférieure, comme il a été indiqué ci-dessus.

Une consommation de $1^k,45$ par cheval brut correspond, par cheval net sur l'arbre, approximativement à $1.45 \times 1.2 = 1^k,74$, ce qui est assurément un bon résultat; il prouve que, locomotives à part, il est intéressant de faire des machines Compound, même sans condensa-

Digitized by Google

tion, ce qui avait été généralement contesté jusqu'ici ; il est juste cependant de rappeler qu'un de nos collègues, M. Dubuc, a depuis plusieurs années construit un très-grand nombre de machines de ce genre, soit locomobiles soit pour élévations d'eau, qui ont donné de très-bons résultats économiques [1]. 1k,450 de charbon à 8k,5 d'eau vaporisée par kilogramme de charbon correspond à 12k,32, et à 8 kilogrammes à 11k,60 d'eau par cheval brut.

Une machine à vapeur *parfaite*, c'est-à-dire détendant jusqu'à la contre-pression, dépenserait, d'après Zeuner, pour 8 atmosphères de pression effective, 8k,217 de vapeur par heure et par cheval brut; le rendement obtenu serait donc de 66 à 70 pour cent. La dépense indiquée sur les diagrammes étant de 10 kilogrammes environ, on peut en conclure que le coefficient k peut être évalué de 1.23 à 1.16, soit 1.20 en moyenne.

Ces chiffres n'ont rien que de très-admissible.

Des ingénieurs ont objecté que ces dépenses sont à peine celles des machines à condensation, qui pourtant ont une supériorité économique incontestable sur des machines envoyant la vapeur dans l'atmosphère. Il y a là erreur; de très-bonnes machines à condensation peuvent ne dépenser que 0,95 à 1 kilogramme de combustible par cheval brut et par heure; de très-bonnes machines sans condensation brûlant 1k,40 à 1k,50, l'avantage de la machine à condensation serait dans le rapport de 1.5 à 1; c'est parfaitement justifiable. Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que les pressions élevées aujourd'hui en usage sont un élément favorable à la bonne production et à la bonne utilisation de la vapeur, surtout lorsqu'elles sont combinées avec des moyens de détente efficace. En outre, les locomotives sont des appareils d'une exécution toujours très-soignée, et qui, tout au moins sur les grandes lignes, sont l'objet de soins minutieux et sont confiées à un personnel choisi. Une machine qui fait 30,000 kilomètres par an, à raison de 40 kilomètres à l'heure, n'a travaillé que 750 heures, et à raison de 25 kilomètres que 1,200 heures dans l'année, tandis qu'une machine d'usine, à 12 heures par jour et 300 jours par an, aurait travaillé 3,600 heures, soit trois à cinq fois autant.

1. On trouve des renseignements intéressants sur la question des machines Compound sans condensation, dans un Mémoire de M. Ebenezer-Kemp, intitulé : *On the Compounding of Locomotive und other Non-Condensing Engines*, inséré dans les Mémoires de l'Institut des Ingénieurs d'Écosse, années 1875-1876.

Digitized by Google

Nous donnons ici un tableau U contenant les résultats de puissance constatés à l'indicateur dans des expériences faites sur la ligne du Creusot au port de Montchanin; ce tableau renferme les puissances développées, les conditions de pression, d'introduction et de vitesse, et les puissances ramenées aux mêmes pression et vitesse ; il contient aussi les charges traînées avec le profil ; il s'agissait de wagons à houille et à minerais. Un fait qui se dégage de l'inspection de ce tableau, malgré quelques anomalies inévitables dans des expériences de ce genre, c'est que la machine développe sa puissance maxima, à pression et à vitesse égales, pour l'introduction de 70 centièmes aux deux cylindres. Ce fait s'explique parfaitement par les conditions de fonctionnement du réservoir intermédiaire, et par le fait que les deux distributions sont dépendantes. Aussi on fonctionne toujours entre 50 et 70 pour cent d'admission, et on évite les introductions plus longues ou plus courtes, en suppléant à ces dernières par la réduction d'ouverture du régulateur.

Les machines de Biarritz ont fait un service extrêmement dur; cependant depuis qu'elles ont été mises en marche il ne s'est jamais produit ni un arrêt, ni même un retard quelconque attribuable au mode de fonctionnement ou aux organes qui le produisent. Le tiroir de démarrage, notamment, a fonctionné huit à dix mille fois en moyenne sur chaque machine, sans que sa manœuvre ait donné lieu à la moindre observation.

Une grande partie du succès est due à l'établissement du Creusot pour l'excellente exécution des machines et les soins minutieux apportés à tous les détails de leur construction.

Nous ne saurions, d'ailleurs, quitter le sujet des machines de Biarritz sans rendre un hommage de reconnaissance à l'éminent administrateur à qui nous devons d'avoir pu faire la première application du système Compound à la locomotive, M. Eugène Péreire, membre de la Société, président du conseil d'administration du chemin de fer de Bayonne à Biarritz, qui pouvait, mieux que personne, par sa haute situation à la Compagnie générale Transatlantique, apprécier l'avantage de ce genre de machines, dont cette Compagnie fait l'emploi sur une si vaste échelle.

Notre camarade, M. Carimantrand, ingénieur de la Compagnie de Biarritz, nous a également, dans cette circonstance, donné l'appui le plus éclairé et le plus dévoué.

Le trafic ayant, sur le chemin de Biarritz, dépassé toutes les prévi-

Digitized by Google

Tableau U. — **Locomotive Compound BAYONNE. — Essais à l'indicateur.**

DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION DES PARCOURS.	Numéros des diagrammes.	Inclinaisons en millimètres.	Rayon des courbes.	Charges remorquées.	Tours de roues par minute.	Vitesse en kilomètres.	Pression à la chaudière.	Admission en centièmes.	Puissance constatée en chevaux indiqués.	Puissance ramenée à 100 tours par minute et 10 atmosphères.	Mode de fonctionnement.
				m.	t.			k.				
23 Juin 1876.	Port, Mine Monchanin.....	1	11	250	111	91	20.6	11	55	222.8	222.5	Direct.
	Id.....	2	11	250	111	125	28.3	10.5	55	278.5	217.9	Id.
	Id.....	3	11	250	74	71	16	11.2	80	91.1	114.5	Compound.
	Id.....	4	11	250	74	73	16.5	11.3	80	84	101.8	Id.
3 Juillet.....	Id.....	5	11	250	53	64	14.5	9.65	70	67.6	109.4	Id.
	Id.....	6	11	250	53	78	17.6	9.75	70	76	100	Id.
	Id.....	7	11	250	38	108	24.4	9.90	60	97.8	91.5	Id.
13 Juillet.....	Id.....	8	11	250	50	120	27.1	7	70	93.4	111.1	Id.
	Torcy-Creusot.....	9	10	500	50	144	32.6	10.5	80	166	109.8	Id.

Digitized by Google

sions, il a été nécessaire d'augmenter la puissance des nouvelles machines à construire pour cette ligne. Le tableau V, donne les dimensions principales de ce nouveau type, dont les six roues sont accouplées.

Dans ces machines, ainsi que dans cinq autres, construites pour la Compagnie des chemins de fer d'intérêt local de la Meuse, nous avons introduit quelques modifications de détail.

Le réservoir intermédiaire, formé seulement par le tuyau de communication entre les deux cylindres, ne peut guère avoir qu'une faible capacité; la dépendance des distributions des deux appareils, qui avait été adoptée pour plus de simplicité sur les machines de Biarritz, conduit avec la cause précédente à une certaine irrégularité de pression dans ce réservoir. De plus, si on réduit notablement l'introduction au petit cylindre, on peut être conduit à comprimer dans ce récipient la vapeur à des pressions exagérées; c'est cette crainte qui avait fait dans les premières machines établir des soupapes de sûreté sur les fonds du petit cylindre ; il en résulte quelquefois une perte de vapeur assez notable. Enfin, il est à désirer de pouvoir, autant que possible et dans toute circonstance, éviter les écarts exagérés d'efforts d'un cylindre à l'autre. Aussi, dans les nouvelles machines, la distribution peut être modifiée séparément de chaque côté. On peut donc donner à volonté une admission différente à chaque cylindre, mais on peut également, pour le renversement de la marche, manœuvrer ensemble les deux distributions. La figure 6, planche 110, représente cet arrangement tel qu'il a été exécuté sur les machines des chemins de fer d'intérêt local de la Meuse. L'écrou de la vis de changement de marche commande à la fois la barre de relevage manœuvrant la coulisse de droite (grand cylindre) et un secteur à cinq crans, portant un levier qui commande la barre de relevage de la coulisse de gauche (petit cylindre); si le levier est au cran central du secteur, la vis commande à la fois les deux distributions, tandis que si on met le levier à un des autres crans, on peut donner aux deux cylindres des introductions différentes.

Nous avons également appliqué le système Compound à deux petites machines à quatre roues pour tramways sur route ; dans ces machines, les cylindres sont verticaux et commandent un essieu libre relié aux essieux porte-roues par des bielles d'accouplement. Cet arrangement est très-convenable pour des appareils où le mécanisme doit être le plus possible sous les yeux du conducteur et à l'abri de la poussière et de la boue pendant la marche. On trouvera les principales dimensions dans

Digitized by Google

Tableau V. — **Locomotives Compound, dimensions principales.**

NUMÉROS DES TYPES.	1.	2.	3.	4.
LIGNES auxquelles appartiennent les Machines.	BAYONNE-ANGLET-BIARRITZ.	BAYONNE-ANGLET-BIARRITZ.	CHEMINS d'intérêt local de la Meuse.	TRAMWAYS sur route.
	m.	m.	m.	m.
Largeur de la voie	1.45	1.45	1.00	1.45
Nombre de machines	3	2	5	2
Constructeurs	Schneider et Cie.	Ateliers de Passy.	Ateliers de Passy.	Corpet et Bourdon.
Surface de grille	1mq.00	1.26	0.65	0.33
Surface de chauffe des tubes (diamètre moyen)	40.50	51	29.40	12.43
Surface de chauffe directe	4.60	5.7	3.20	2.49
Surface de chauffe totale	45.10	56.7	32.60	14.92
Rapport de la surface totale à la surface directe	9.80	10	10	6
Rapport de la surface totale à la surface de grille	45.10	45	50	45.2
Diamètre extérieur des tubes	45 m/m	45	45	45
Longueur entre-plaques	2.400	2.900	2.200	1.880
Nombre	125	130	99	49
Diamètre moyen du corps cylindrique	1.000	1.020	0.900	0.700
Volume d'eau de la chaudière	1370l	1800	1000	800
Timbre	10kg	10	10	12
Hauteur de l'axe au-dessus du rail	1.600	1.860	1.400	1.250
Diamètre du petit cylindre	0.240	0.280	0.220	0.150
Diamètre du grand cylindre	0.400	0.420	0.350	0.240
Rapport des sections des cylindres	2.78	2.25	2.53	2.56
Course des pistons	0.450	0.550	0.400	0.320
Entre-axe des cylindres	1.910	1.950	1.410	1.520
Nombre de roues	6	6	6	4
Nombre de roues accouplées	4	6	6	4
Diamètre des roues accouplées	1.200	1.200	0.750	0.700
Diamètre des roues de support	0.900	»	»	»
Écartement des essieux extrêmes	2.700	2.700	1.680	1.300
Longueur de la machine hors traverses	5.740	6.760	5.340	4.100
Capacité des caisses à eau	1800l	2.500	1.900	1.000
Poids de la machine vide	15.500k	20.000	13.000	5.500
Poids moyen en service	19.500	24.000	15.500	7.000
Poids moyen adhérent	15.200	24.000	15.500	7.000

Digitized by Google

le tableau V. Ces machines n'ont malheureusement pas encore fonctionné par des circonstances bien indépendantes de notre volonté.

Un cas que nous avons eu à étudier est celui où il s'agit de modifier une machine existante par le simple changement des cylindres. Il peut être alors désirable de conserver, lors de la marche à introduction directe, une sensible égalité d'efforts sur les deux côtés de la machine, dans le but surtout de ne pas faire subir aux pièces conservées du mécanisme d'efforts sensiblement supérieurs à ceux qu'elles supportent actuellement. Il en résulte que, si on remplace, par exemple, un cylindre de $0^m,42$ de diamètre par un de $0^m,55$, pour que l'effort total reste le même sur chaque piston et chaque mécanisme, il faudra que la pression par unité de surface soit réduite sur le grand piston à

$$p \times \frac{\overline{42}^2}{\overline{55}^2} = 0{,}56\, p.$$

Pour obtenir ce résultat, quelle que soit la valeur absolue de p, nous disposons dans ce cas un détendeur automatique (fig. 5), formé d'un piston à deux diamètres, commandant un obturateur qui réduit dans la boîte du tiroir de démarrage la pression de la vapeur à n'être qu'une fraction de la pression de la chaudière, réglée par le rapport de la section totale du piston du détendeur à la section annulaire sur laquelle agit la vapeur vive, rapport qui est également celui des sections des cylindres. Cette disposition a de plus l'avantage de réduire notablement la pression sur le tiroir de démarrage, et par suite l'effort à exercer pour le manœuvrer, ce qui n'est pas sans intérêt pour les machines d'une puissance déjà assez considérable en vue desquelles cet arrangement a surtout été étudié.

On a reproché à cette disposition d'abaisser la pression initiale de la vapeur et de diminuer par conséquent son effet utile. Nous ferons observer qu'il n'y a qu'un abaissement de pression sans travail externe, et par conséquent sans perte de chaleur; mais y eût-il, d'ailleurs, perte d'effet utile comme il y a perte absolue de puissance, la conséquence est peu importante, puisqu'il s'agit d'un fonctionnement de courte durée, au démarrage, ou pour un effort plus considérable à effectuer momentanément et exceptionnellement. L'objection n'est donc pas sérieuse.

Nous profiterons de l'occasion pour répondre à une autre objection qui nous a été faite. Il a été avancé que, pour des machines à arrêts très-fréquents, telles que des machines de tramways, la disposition avec

Digitized by Google

tiroir de démarrage des machines de Biarritz ne présenterait pas d'avantages sérieux, parce qu'il faudrait employer à chaque instant le fonctionnement direct, et que dès lors on n'obtiendrait aucune économie. Nous pourrions répondre que, dans le cas dont il s'agit, l'avantage de la machine Compound est encore plus dans son élasticité de puissance que dans l'économie de combustible; mais il y a mieux; si on arrête la machine dans un temps très-court avec la mise des coulisses au point mort et le serrage des freins, et que l'arrêt ne dure que quelques secondes, comme cela a lieu lorsqu'il ne s'agit que d'arrêter une voiture de tramway pour faire monter ou descendre des voyageurs, la machine repart sans aucune difficulté au Compound par l'effet de la vapeur qui reste dans le réservoir intermédiaire et qui n'a pas eu le temps de se condenser. Ce n'est que si l'arrêt était prolongé ou que si le démarrage présentait une difficulté spéciale qu'il serait nécessaire d'employer l'action directe. Ce fait est journellement vérifié avec les machines de Biarritz dans les manœuvres de gare, notamment dans celles qui ont lieu sur les plaques tournantes.

On ne trouvera pas hors de propos, nous l'espérons, que nous mentionnions, pour terminer, une appréciation flatteuse dont les locomotives de Biarritz viennent d'être l'objet. L'Institut de France a constaté que ces machines se distinguaient par « un sérieux progrès sous le rapport théorique et pratique. »

« En décernant à M. Mallet le prix Fourneyron pour 1877, » dit le rapport de la Commission composée de MM. Phillips, Morin, Rolland, Resal et Tresca, « l'Académie a surtout eu en vue de recompenser une tentative qui a pour objet de faire profiter les machines locomotives des avantages déjà reconnus, dans l'application aux machines marines, du système Compound, qui a constitué, sans aucun doute, une des plus grandes améliorations de ces dernières années. »

Nous nous sommes proposé dans cette note de donner uniquement des résultats d'expérience et des indications sur des machines exécutées; nous n'examinerons donc pas plus en détail les autres dispositions qu'on peut employer pour appliquer le système Compound aux locomotives, et dont nous avons déjà donné un aperçu très-succinct. Il est d'ailleurs probable que la question une fois engagée fera des pas assez rapides pour que nous puissions revenir prochainement sur ce sujet et présenter les résultats que nous attendons de nouvelles et plus importantes applications.

Digitized by Google

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

HENRY SCHLUMBERGER

Henry Schlumberger, mort à Guebwiller (Haut-Rhin), le 25 octobre 1876, était né dans cette même ville le 30 juin 1817.

Élève distingué de l'École Centrale, il entra de bonne heure dans la maison Nicolas Schlumberger et Cie, où il ne tarda pas à contribuer largement aux succès bien connus de cette puissante maison.

L'industrie de la maison Nicolas Schlumberger et Cie consiste à exploiter des filatures de coton, de lin et de laine, ainsi qu'à construire les machines nécessaires à ces industries. Depuis trente ans, ces industries ont subi une transformation complète; les opérations les plus difficiles et les plus compliquées se font aujourd'hui à la mécanique d'une manière plus complète et beaucoup plus soignée qu'autrefois à la main. Tous ceux qui connaissent ces industries peuvent s'imaginer ce qu'il a fallu d'efforts et de mérite pour réaliser ces magnifiques problèmes.

Les qualités dominantes de Henry Schlumberger étaient de saisir facilement les progrès à faire, de les définir clairement, et de rendre possible, par cela même, la coopération de tous à leur réalisation. Il avait en plus la persévérance qui manque si souvent à ceux qui sont avides de progrès.

Henry Schlumberger a particulièrement contribué au succès de la célèbre « peigneuse Josué Heilmann, » la plus belle invention faite en filature depuis bien longtemps. Le problème était compliqué; il s'agis-

Digitized by Google

sait d'appliquer la machine au peignage de toutes les matières textiles, depuis le filament court, comme le coton, jusqu'au filament long, comme le lin, le chanvre, les déchets de soie, en passant par ceux de moyenne longueur, comme la laine, et les déchets de filaments longs.

Comme presque tous les hommes distingués, Henry Schlumberger avait des goûts pour de certaines études, qui occupaient ses moments de loisir. Sa passion pour la botanique, pour ses arbres fruitiers et ses fleurs, était proverbiale; sa maison hospitalière était recherchée des savants, auxquels il facilitait de grands voyages dans des buts scientifiques, et, le soir, il était heureux de les trouver à son foyer pour causer et souvent diriger leurs études.

En 1859, Henry Schlumberger fut nommé chevalier de la Légion d'honneur, et la même année maire de la ville de Guebwiller, fonctions qu'il conserva jusqu'en 1870, époque de l'invasion allemande en Alsace. En 1861, il fut nommé membre de la chambre consultative de l'agriculture et du conseil départemental de l'instruction publique; en 1867, il est nommé officier d'Académie; en 1861, il est élu conseiller général.

En outre, Henry Schlumberger était président de la Société d'Histoire naturelle du Haut-Rhin, membre de la Société des Ingénieurs civils, de la Société des Agriculteurs de France, de la Société de Botanique de France et de la Société d'Acclimatation, depuis sa fondation.

En 1861, Henry Schlumberger eut la douleur de perdre son fils unique; il se retira des affaires pour se dévouer plus particulièrement à son pays et satisfaire ses goûts scientifiques.

Comme homme public, Henri Schlumberger fut un modèle. Homme de devoir, mais dévoué au progrès, il tâchait de les réaliser par tous les moyens en son pouvoir. Il renversait ou sautait par-dessus les obstacles, et quand ils étaient du genre financier, il donnait l'exemple de largesse ou faisait les fonds à lui tout seul. Il serait vraiment trop long d'énumérer ici toutes ses générosités. Voyez cette école, cette salle d'asile modèle, ce lavoir public, c'est à lui qu'on les doit. Voyez cette station de chemin de fer, à l'entrée même de la ville, c'est à sa générosité qu'on la doit si bien placée, car l'administration, selon ses projets, la plaçait à 500 mètres plus loin. Voyez cette eau qui coule dans la rivière, en hiver et en été, quand tous les cours d'eau des montagnes sont desséchés, grâce au percement du lac du Ballon trans-

Digitized by Google

formé en réservoir; c'est lui qui a toujours donné l'exemple des largesses et soutenu énergiquement l'ingénieur civil qui avait eu le courage de mener à bonne fin cette entreprise, abandonnée comme impossible par les ingénieurs de l'État. Voyez ces rues nouvelles, ces alignements nouveaux, c'est sous son administration qu'ils ont été réalisés et souvent facilités par des sacrifices personnels. Il était, enfin, le soutien et le protecteteur énergique des Sociétés de gymnastique, des orphéons, des orphelinats et des cours populaires; en un mot, il était à la tête de toutes les bonnes œuvres et de toutes les institutions de progrès et d'humanité. Il en a, du reste, été récompensé par l'amour de ses concitoyens, car longtemps encore « notre maire » (car c'est ainsi qu'on le désignait, et jusqu'à sa mort) sera regretté de tous ceux qui l'ont connu.

Comme botaniste, Henry Schlumberger pouvait être classé parmi les savants; ses serres, son magnifique herbier, qu'il a légué à la ville de Colmar avec les fonds nécessaires pour son entretien, sont restés célèbres dans le pays. Pour satisfaire cette passion, il ne reculait devant aucun sacrifice; il s'entourait de savants jeunes et vieux qui classaient ses collections et entretenaient ses herbiers. Dans la belle saison, il voyageait avec eux ou les envoyait en mission, et jusqu'au fond du Mexique, pour récolter la flore de ce pays lointain.

Henry Schlumberger était patriote; la guerre de 1870 l'a trouvé à son poste de maire. Il résiste aux injonctions de l'ennemi et se fait transporter comme prisonnier au camp des Allemands. Son vieux cocher, qui a pu le rejoindre, meurt des fatigues et des émotions de ce triste voyage. Henry Schlumberger y trouve la maladie dont il est mort; à partir de cette époque fatale, le marcheur infatigable, l'ascensionneur intrépide des hautes montagnes de la Suisse, le chasseur émérite se meurt lentement. N'ayant conservé aucune de ses fonctions sous le régime prussien, son activité n'a plus de but, son pays natal n'a plus de charme. Il voyage presque toujours; sa passion pour les fleurs devient plus intense que jamais. Se sentant à bout de force, il revient à Guebwiller, mourir au milieu de sa chère famille et de tous ceux qu'il avait tant aimés.

Il est presque inutile d'ajouter que Henry Schlumberger était bienfaisant; mais comme il n'informait pas la main gauche de ce que donnait la main droite, on n'a pu juger de sa générosité que par le nombre des orphelins et des pauvres gens qui pleuraient sur sa tombe.

Digitized by Google

Ses derniers moments ont été employés à assurer le sort de tous ceux qui l'avaient servi avec dévouement et à distribuer des souvenirs à toutes les institutions auxquelles il était attaché et affectionné. Enfin, le 25 octobre 1876, il est mort en chrétien, et c'est le plus beau des titres qu'il a laissé à sa famille.

Digitized by Google

ORGANE DU PROGRÈS DES CHEMINS DE FER

PAR HEUSINGER DE WALDEGG.

Année 1877.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **M. N. SERGUEEFF.**

VII• CAHIER.

1• Frein automoteur à air de Westinghouse, communiqué par M. Rumschottel.

2° Atelier central du chemin de fer du Rhin à Nippes près Cologne, par M. Leonhardi.

3° Changement et croisement de voie, par M. Lazar, de Vienne.

4° Bandage pour roues, par M. Woytt, de St-Wendel.

5° Signal d'aiguille, par M. Beemelmans, de Strasbourg.

6° Rapport sur le service du transport et de l'entretien du chemin de fer du Sud de l'Autriche et en particulier sur les résultats d'exploitation des parties montagneuses, comme Semmering-Brenner, la vallée de Poustre-Fioume, pendant les années 1872, 73, 74, et 75, communiqué par M. A. Gottschalk.

7° Avancement des travaux de la ligne du mont Saint-Gothard pendant l'année 1876.

8° Premiers essais du frein permanent sur la ligne du Main-Weser.

9° Échange de rails pendant l'année 1876 sur la ligne de Cologne-Minden.

10° Bague pour tube de locomotive, brevet Selkirk.

11° Tramway à vapeur entre Cassel et Wilhelmshohe.

12° Notice sur les longuerines métalliques, système Hilf, de Wiesbaden.

13° Scie et machine à percer pour rails et traverses.

14° Wagons de transport pour chevaux de luxe, par M. Verloop, à Utrecht.

15° Graisseur perfectionné, breveté, par Kernaul.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

ANNÉE 1877.

Pages.

Aciers sans soufflures, par M. Euverte (séances des 4 mai, 1er et 15 juin). . . . . 329, 367 et 375

Aciers Bessemer aux États-Unis. Note de M. Raymond, présentée par M. Jordan (séance du 16 mars). 200

Agriculteurs (Société des), Lettre de M. Chabrier (séance du 16 février). . 123

Agriculture (Expériences agricoles). Ouvrage de MM. Lawes et Gilbert, remis par M. Ronna (séance du 2 février). 110

Ammoniaque libre dans l'acier, par M. Regnard (séances des 19 janvier et 16 mars). . . . . 91 et 210

Arbres parallèles tournant en sens contraires (Divers modes d'accouplement de deux), par M. Charles Bourdon (séance du 2 mars). . . . 196 et 506

Ardoises (Nouveau système d'attache pour consolider les), par M. Regnard (séance du 20 avril). 220

Art de l'Ingénieur, du Constructeur de machines et de l'Entrepreneur de Travaux publics (Théorie pratique de l'), par M. Vigreux (Analyse de cet ouvrage par M. Paul Regnard). 60

Assurances sur la Vie (Représentation graphique des tarifs d'), par M. Fouret (séance du 16 mars). . . . . 203 et 312

Ateliers d'Altona (Chemin de fer de Pensylvanie), par M. Regnard (séance du 16 mars). 208

Bassin houiller de la Rühr (Notes d'un voyage dans le), par MM. de Loriol et Chansselle, présentées par M. Jordan (séance du 16 mars). . . . 199

Bois (Note sur le procédé de préparation des bois dits Thermo-carbolisation), Système John Blythe, par M. Leroide (séance du 6 juillet). . 481 747

Brevets d'invention en Allemagne (Loi des), par M. Barrault (séance du 16 novembre). 811

Chemins de fer du Sud de l'Autriche (Note sur le service du matériel et de la traction des), par M. Gottschalk. 141

Chemins de fer français (Tableaux statistiques relatifs à l'Exploitation des), par M. Marché (séance du 15 juin). 387

Chemin de fer de Galata à Péra, construit par M. Gavand (Ouvrage sur le). Analyse faite par M. Molinos (séance du 16 mars). 202

Chemins de fer de la Turquie d'Asie, par M. Rolin (séance du 20 avril). 323

Concours pour l'obtention de bourses dans la division préparatoire aux Écoles du gouvernement (ouvert par l'École Monge) séance du 20 juillet). 487

Digitized by Google

Pages.

Constructions Japonaises (Étude de M. Lescasse sur les), présentée par M. Barrault (séance du 6 avril). . . . . 212 et 451

Corps trempés (Constitution des), par M. Léger (séance du 19 octobre). . 645

Décès : MM. Bouquet, Bélanger, Smith, Alcan, Delpèch, Welter, Lepainteur, Burel, Billieux, Flachat (Adolphe), Bertrand (Charles), Brunt, Bulot (Hippolyte), Lemonon, Thomas (Frédéric), Dru (Saint-Just), Consolat, Bourson, Gruau, Legat (Camille), Foulon, Y. Tudo (séances des 5 et 19 janvier, 2 février, 2 et 16 mars, 20 juillet, 5 octobre et 16 novembre). 82, 91, 106, 186, 199, 487, 502, 621, et 811

Décorations, Officier de la Légion d'honneur, M. Ronna; Chevaliers: MM. Bouvard, Arbel, Dietz-Monin, Courras, Ermel, Level, Pereire (Eugène), Polonceau (séances des 16 février, 16 mars, 20 avril et 5 octobre). . . . . 123, 199, 218 et 621

Décoration étrangère, M. Eiffel, Commandeur de l'Ordre de la Conception du Portugal; A. Piquet, Commandeur de Charles III d'Espagne (séances des 16 novembre et 4 mai). . . . . 29 et 811

Détente des fluides, par M. Caron (séance du 16 février). 130

Don fait par madame veuve Poncelet de plusieurs ouvrages publiés par ses soins (séance du 16 février). 123

Don fait par madame veuve Alcan, d'un exemplaire des 13 volumes des *Rapports des Membres du Jury de l'Exposition universelle de* 1867. 186

Eaux courantes (régime général des), Résumé du travail de M. Thomé de Gamond, par M. Larrue. 168

Eaux de Seine dans la banlieue de Paris (Étude pratique sur la distribution des), par MM. Dumont (Marie) et Doat (séance du 20 juillet). 500 et 666

Eaux d'égout employées en irrigations, lettre de M. Orsat (séance de 5 janvier). 83

Éclairage par l'électricité, par M. Fontaine (séances des 1er juin et 20 juillet). . . . . 368 et 488

Élections des Membres du Bureau et du Comité (séance du 21 décembre). 851

Électro-Sémaphores, pour le Block-system, leur application sur les lignes à double et à simple voie, par M. Lartigue (Henri) (séance du 2 février). . . . . 112 et 228

Équations générales de l'équilibre d'une pièce courbe, par M. de Dion (séance du 2 novembre). 797

Étau à mouvement parallèle, par M. Arson (séance du 3 août). 503

Exposition universelle de 1878. Commission consultative se rattachant à l'installation des machines en mouvement (Membres : MM. Caillot, Ch. Callon, Victor Forquenot, Lecœuvre, Henri Mathieu); Comité consultatif du contentieux (Membre : M. Ch. Thirion (séance du 5 janvier). 82

Ferro-manganèse, fabriqué aux hauts fourneaux de Saint-Louis, près Marseille (Échantillons de), présentés par M. Jordan (séance du 7 décembre). 826

Fers à cheval (Fabrication mécanique des), par MM. Lockert et Faure Beaulieu (séances des 19 janvier, 2 mars et 6 avril). . . . . 103, 186 et 211

Formule approchée mais très-simple, pour le calcul des poutres métalliques en forme I soumises à la flexion (Note sur une), par M. Périssé (séance du 19 octobre). . . . . 644 et 764

Digitized by Google

Pages.

Fours à réchauffer les bandages des roues, par M. Arson (séance du 20 juillet). 497

Fours à cuve dits Cubilots (Étude sur les), par M. Georges Salomon (séance du 16 février). . . . . 124 et 704

Freins continus dans les trains en marche (Nouvelle application de l'électricité à la manœuvre des), par M. Bandérali (séances des 18 mai et 6 juillet). . . . . 359 et 485

Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson (Mémoire de M. Gazan sur les), analysé par M. Cornuault (séance du 16 novembre). 818

Hôpital de Berck (Construction de l'), par M. Lavezzari (séance du 1er juin). 368

Installation des Membres du Bureau et du Comité (Discours de MM. Richard et de Dion) (séance du 5 janvier). . . . . 64 et 72

Liste générale des Membres de la Société. 5

Machine à tricoter dite de famille, fabriquée par la Cie Bickford de Brattleboro, par M. Regnard (séance du 7 décembre) 828

Machine à vapeur (Utilisation de la puissance dynamique des gaz et essais d'application), par M. Quéruel (séances des 5 et 19 octobre et 16 novembre). . . . . 633, 659 et 822

Machine à compter, inventée en 1751, par Jacob-Rodrigue Pereire (séance du 15 juin). 388

Machines locomotives (Utilisation de la vapeur). Application du système Compound, par M. Mallet (séances des 5 et 19 janvier, 16 février, 5 et 19 octobre, 2 novembre et 7 décembre). 84, 93, 132, 623, 659, 785, 826 et 852

Marine de la Grande-Bretagne, par M. J. Gaudry (séances des 3 août et 5 octobre). . . . . 503, 547 et 620

Médaille d'or décernée à M. Gottschalk pour son Mémoire sur le service du matériel et de la traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche (séances des 15 juin et 6 juillet). . . . . 385 et 481

Minerais à base d'oxyde de nickel, (Note sur les traitements des), par M. Jules Garnier (séance du 1er juin). . . . . 368 et 441

Métallurgie du zinc, par M. Lencauchez. 558

Nécrologie de Robert Napier, par Jules Gaudry. 314

Noir animal sur les jus sucrés (Action du). Note de MM. Champion et Pellet (séance du 20 avril). 218

Obligations (Tirage d') (séance du 15 juin). 385

Ordre du jour des séances (Observations de M. Loiseau sur l'), séance du 6 avril. 211

Organe du progrès des chemins de fer par Keusinger de Waldegg. Traduit de l'allemand, par M. Sergueeff. 774

Patinage des roues de locomotives, par M. Desmousseaux de Givré (séance du 5 octobre). 621

Pétrole (Demande de renseignements sur les moyens installés en France pour assurer le trafic du pétrole dans les ports de commerce), lettre de M. Bömches (séance du 2 février). 109

Pompes centrifuges simples (Théorie des), par M. Poillon (séance du 15 juin). 386

Pont de Porto, construit sur le Douro par la maison Eiffel, par M. Seyrig (séance du 7 décembre). 831

Digitized by Google

Pages.

Port de commerce de Trieste, par M. Bömches (séances des 5 janvier et 20 mars). . . . . 83, 189 et 516

Prix de Mécanique de la fondation Monthyon, décerné par l'Académie à M. Marcel Desprez, pour son Indicateur de pression applicable aux machines à vapeur (séance du 1er juin). 367

Prix de cent mille francs offert par le Conseil général de la Guadeloupe à l'inventeur d'un nouveau procédé d'extraction du jus de la canne ou de la fabrication du sucre (séance du 6 juillet). 480

Quantités dites Imaginaires de la forme $a + b\sqrt{-1}$, etc. (Note sur la réalité des), par M. Desmousseaux de Givré. 389

Railways de la Grande-Bretagne, par M. Jules Gaudry (séance du 3 août). 503 et 535

Réservoirs naturels et artificiels (Construction économique des murs de), par M. Ansart (séance du 3 août). . . . . 505 et 581

Résumé des mois de Janvier et Février. 55

Résumé des mois de Mars et Avril. 177

Résumé des mois de Mai et Juin. 321

Résumé des mois de Juillet et Août. 473

Résumé des mois de Septembre et Octobre. 613

Résumé des mois de Novembre et Décembre. 777

Richesse minérale de la province de Santander (Mémoire sur la), par M. A. Piquet. 259

Roues de wagons en fonte trempée (Fabrication des), aux ateliers d'Altona (chemin de fer de Pensylvanie), par M. Regnard (séance du 16 mars). . . . 208

Situation financière de la Société (Exposé de la), par M. Loustau, trésorier (séances des 15 juin et 21 décembre). . . . . 384 et 849

Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne (Lettre de M. F. Schmidt, Président de la) (séance du 5 janvier). 82

Société des Ingénieurs de Vienne, de Berlin et de Hanovre (Résumés des travaux des). Traduction par M. Sergueeff. . 175, 318, 471 et 608

Statuts (Révision des). Lettres de MM. Maldant et Quéruel (séances des 6 avril, 15 juin, 6 et 20 juillet, 3 août et 5 octobre). 212, 375, 480, 487, 502 et 620

Tampons obturateurs creux servant au tamponnement en cas d'avaries des tubes des chaudières, par M. Regnard (séances des 20 avril et 6 juillet). . . . . 221 et 481

Téléphone de M. Bell, présenté par M. Niaudet (séance du 7 décembre). . 839

Transmission par courroies, par M. Leneveu (séance du 2 février). . . . 119

Tunnel sous la Manche (Constitution géologique du détroit du Pas-de-Calais), par M. Lavalley (séance du 18 mai). 362

Zinc (Métallurgie du), par M. Lencauchez (séance du 6 juillet). 558

PARIS. — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Digitized by Google

19.	20.	21.	22.
EXPENSE D'EAU par heure et par mètre carré de surface de chauffe.	NOMBRE de chevaux produit par mètre carré de surface de chauffe.	NOMBRE de chevaux produit par mètre carré de grille.	COMBUSTIBLE.
lit.			
33,2	2,33	200	Tourbe.
27,5	1,94	167	
32,5	2,56	220	
23,5	1,47	126	
26,9	2,27	195	
17,8	1,34	115	
26,9	2,04	175	
46,8	3,24	258	Houille.
42,6	2,97	226	
35,6	2,32	177	
38,2	2,75	210	
42,3	2,86	192	
46,9	3,29	222	
46,5	3,10	208	
36,2	2,23	149	Tourbe.
36,6	2,41	160	
28,3	1,83	122	
36,4	2,00	106	Houille.
38,0	2,49	132	
46,3	2,73	145	
32,2	2,06	136	
48,8	2,83	186	
32,6	1,59	105	
37,9	2,03	128	
40,7	2,41	152	
38,5	2,12	134	

Paris. — Impr. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

Digitized by Google

LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO **ENGINEERING LIBRARY**

642-3366

LOAN PERIOD 1	2	3
4	5	6

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS

Overdues subject to replacement charges

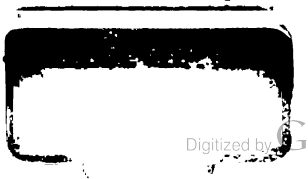
DUE AS STAMPED BELOW

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY

FORM NO. DD11, 10m, 11/78 BERKELEY, CA 94720

Digitized by Google

YD 07299



Digitized by Google

Digitized by Google